

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivana Vranić

Zagreb, 2018. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Janoš Kodvanj
Prof. dr. sc. Dražen Vnuk

Student:

Ivana Vranić

Zagreb, 2018. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorima prof. dr. sc. Janošu Kodvanju i prof. dr. sc. Draženu Vnuku na pruženoj pomoći, stručnom usmjeravanju i ugodnoj suradnji tijekom izrade ovog rada. Također, zahvaljujem djelatnicima Laboratorija za eksperimentalnu mehaniku na pruženoj pomoći tijekom provedbe eksperimentalnih ispitivanja.

Veliko hvala i mojoj obitelji na podršci i razumijevanju tijekom studiranja.

Ivana Vranić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivana Vranić** Mat. br.: 0035195604

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj tehnike zatvaranja reza cistotomije na maksimalni intravezikalni tlak u svinjskom mokraćnom mjehuru**
Naslov rada na engleskom jeziku: **Influence of the cystotomy incision closure technique on the maximum intravesical pressure in porcine bladder**
Opis zadatka:

Cistotomija je kirurški zahvat koji se najčešće koristi u humanoj i veterinarskoj medicini za kirurško liječenje mokraćnih kamenaca. Za zatvaranje reza cistotomije koji može biti na dorzalnoj ili ventralnoj stijenci mokraćnog mjehura koriste se različite tehnike šivanja te različiti materijali za šivanje. Standardna tehnika za zatvaranje reza cistotomije je jednoslojno šivanje upotrebom resorbirajućih monofilamentnih materijala za šivanje korištenjem pojedinačnog čvorastog ili produžnog šava s čvoranjem na početku i kraju šava. Danas se pri kirurškim zahvatima koristi novi dizajn kirurškog konca s postranim kukicama koje onemogućuju njegovo proklizavanje i izvlačenje iz kirurške rane pri čemu nije potrebno čvoranje na početku i kraju linije šivanja. Za brzo zatvaranje kožnog reza koriste se kožni stapleri, a do sada su korišteni i za zatvaranje rane na crijevu.

U radu je potrebno ispitati utjecaj tehnike zatvaranja reza cistotomije na maksimalni intravezikalni tlak u svinjskom mokraćnom mjehuru kod zatvaranja reza standardnom tehnikom pomoću resorbirajućeg monofilamentnog konca, kožnim staplerom i koncem s postranim kukicama. Također je potrebno odrediti mehanička svojstva svinjskog mjehura i polje pomaka u području cistotomijske rane.

Tijekom rada potrebno je:

1. Upoznati se s radom statičke kidalice i optičkog sustava Aramis.
2. Odrediti maksimalni intravezikalni tlak u svježim svinjskim mjehurima kod zatvaranja reza cistotomije klasičnim produžnim šavom s čvoranjem na početku i kraju šava, kožnim staplerom i koncem s postranim kukicama.
3. Statičkim vlačnim pokusom odrediti mehanička svojstva svinjskog mjehura u dva međusobno okomita smjera.
4. Mjernim sustavom Aramis odrediti polje pomaka u području zatvorene rane cistotomije.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

3. svibnja 2018.

Datum predaje rada:

5. srpnja 2018.

Predviđeni datum obrane:

11., 12. i 13. srpnja 2018.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Janoš Kodvanj

Prof. dr. sc. Dražen Vnuk

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD	1
1.1. Mokraćni mjehur	1
1.2. Cistotomija.....	3
1.2.1 Tehnike zatvaranja reza cistotomije	3
1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	4
1.3.1 Mehaničko ponašanje tkiva svinjskog mjehura.....	4
1.3.2 Zatvaranje reza cistotomije	7
2. CILJEVI I HIPOTEZA RADA	9
3. MATERIJALI I METODE	10
3.1. Priprema uzoraka	10
3.1.1 Uzorci za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka	11
3.1.2 Uzorci za statičko vlačno ispitivanje.....	14
3.1.3 Uzorci za ispitivanje vlačne čvrstoće rane cistotomije	16
3.2. Optički mjerni sustav <i>Aramis</i>	18
3.2.1 Metoda korelacije digitalne slike	18
3.2.2 Nanošenje stohastičkog uzorka na površinu	20
3.2.3 Podešavanje i kalibracija sustava	21
3.2.4 Snimanje uzoraka	23
3.2.5 Pohrana i obrada digitalnih slika	23
3.3. Eksperimentalno ispitivanje	25
3.3.1 Određivanje maksimalnoga intravezikalnog tlaka	25
3.3.2 Statičko vlačno ispitivanje	27
3.3.3 Mjerenje optičkim sustavom <i>Aramis</i>	29
3.4. Statistička analiza	31
4. REZULTATI.....	33
4.1. Rezultati ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka	33
4.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja tkiva mjehura	35

4.3. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja čvrstoće rane.....	40
4.4. Rezultati mjerenja pomaka sustavom <i>Aramis</i>	45
5. RASPRAVA.....	51
6. ZAKLJUČAK	54
LITERATURA.....	55
PRILOZI.....	57

POPIS SLIKA

Slika 1 Shematski prikaz mokraćnog mjehura [2]	2
Slika 2 Krivulja naprezanje-deformacija za stijenku mokraćnog mjehura s prikazom orijentacije vlakana kolagena [13]	5
Slika 3 Razlika između uzdužnih (plavo) i poprečnih (crveno) uzoraka [13].....	6
Slika 4 Rez na ventralnoj strani uzorka.....	11
Slika 5 Rez cistotomije zatvoren produžnim šavom	11
Slika 6 Weck Visistat® 35R Skin Stapler.....	12
Slika 7 Staplica [19]	12
Slika 8 Rez cistotomije zatvoren staplerima	13
Slika 9 Konac V-Loc™ 90 3-0	13
Slika 10 V-Loc™ uvećani prikaz: a) omče, b) postranih kukica	14
Slika 11 Rez cistotomije zatvoren koncem s postranim kukicama	14
Slika 12 Linija rezanja mokraćnog mjehura	15
Slika 13 Priprema poprečnih i uzdužnih uzoraka: a) prerezani mjehur, b) poprečni uzorak, c) uzdužni uzorak	15
Slika 14 Dimenzije uzoraka	15
Slika 15 Uzorak za statičko vlačno ispitivanje.....	16
Slika 16 Dimenzije uzoraka za ispitivanje vlačne čvrstoće rane.....	16
Slika 17 Priprema uzoraka	17
Slika 18 Uzorak pripremljen za šivanje	17
Slika 19 Uzorci za određivanje vlačne čvrstoće rane: a) standardni šav, b) stapler, c) V-Loc konac	18
Slika 20 Shema mjerenja dvjema kamerama primjenom korelacije digitalne slike [20].....	19
Slika 21 Primjer stohastičkog rastera i crveno označena pravokutna faseta: a) faseta u referentnoj konfiguraciji, b) faseta u deformiranoj konfiguraciji [20].....	19
Slika 22 Optički mjerni sustav Aramis [21].....	20
Slika 23 Primjeri stohastičkih uzoraka za različite mjerne volumene [21].....	21
Slika 24 Kalibracijski objekti: a) kalibracijska ploča, b) kalibracijski križ [21].....	21
Slika 25 Sustav Aramis s potrebnim parametrima za podešavanje [20]	22
Slika 26 Faseta veličine 15x15, s 2 preklapajuća piksela [22]	23

Slika 27 Uzorci pripremljeni za mjerenje optičkim sustavom Aramis	24
Slika 28 Uzorak pripremljen za ispitivanje	25
Slika 29 Postav za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka	26
Slika 30 Uzorak u trenutku propuštanja – propuštanje na ubodima	26
Slika 31 Uzorak u trenutku propuštanja – propuštanje između uboda.....	27
Slika 32 Statička kidalica Messphysik Beta 50-5	28
Slika 33 Uzorak pozicioniran u prihvatu kidalice	28
Slika 34 Vlačno ispitivanje uzoraka do pucanja: a) uzorak pozicioniran u prihvatu, b) uzorak tijekom opterećivanja i c) uzorak neposredno prije pucanja.....	29
Slika 35 Eksperimentalni postav kod ispitivanja vlačne čvrstoće rane.....	30
Slika 36 Uzorak učvršćen u prihvatu kidalice.....	31
Slika 37 Ispitivanje vlačne čvrstoće rane s popuštanjem uzorka iznad rane.....	31
Slika 38 Dijagram sila-pomak za poprečne uzorke.....	36
Slika 39 Dijagram sila-pomak za uzdužne uzorke	37
Slika 40 Dijagram naprezanje – deformacija za poprečne uzorke	39
Slika 41 Dijagram naprezanje – deformacija za uzdužne uzorke	39
Slika 42 Dijagram sila-pomak kontrolne skupine uzoraka	41
Slika 43 Dijagram sila-pomak uzoraka sa zatvaranjem rane monofilamentnim koncem	42
Slika 44 Dijagram sila-pomak za uzorke sa zatvaranjem rane staplerom.....	43
Slika 45 Dijagram sila-pomak za uzorke sa zatvaranjem rane koncem s postranim kukicama.....	44
Slika 46 Sučelje programa Aramis.....	45
Slika 47 Pomak kod uzorka spojenog monofilamentnim koncem	46
Slika 48 Dijagram deformacije za uzorke spojene monofilamentnim koncem.....	46
Slika 49 Pomak kod uzorka spojenog staplerom	47
Slika 50 Dijagram deformacija za uzorke zatvorene staplerom.....	48
Slika 51 Pomak kod uzorka spojenog V-Loc koncem	49
Slika 52 Dijagram deformacije za uzorke spojene V-Loc koncem.....	49

POPIS TABLICA

Tablica 1 Intravezikalni tlak u uzorcima sa standardnim šavom	33
Tablica 2 Intravezikalni tlak u uzorcima sa staplicama	34
Tablica 3 Intravezikalni tlak u uzorcima s V-Loc koncem	34
Tablica 4 Rezultati ispitivanja poprečnih uzoraka	36
Tablica 5 Rezultati ispitivanja uzdužnih uzoraka	37
Tablica 6 Srednje vrijednosti modula elastičnosti poprečnih i uzdužnih uzoraka	38
Tablica 7 Rezultati ispitivanja kontrolne skupine uzoraka	40
Tablica 8 Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće rane zatvorene monofilamentnim koncem	42
Tablica 9 Rezultati ispitivanja čvrstoće rane zatvorene staplerom	43
Tablica 10 Rezultati ispitivanja čvrstoće rane zatvorene koncem s postranim kukicama	44
Tablica 11 Vrijednosti sile i deformacije za standardni šav za 192. sekundu.....	50
Tablica 12 Vrijednosti sile i deformacije za stapler za 192. sekundu	50
Tablica 13 Vrijednosti sile i deformacije za V-Loc šav za 192. sekundu	50

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
b	mm	širina uzorka
E	N/mm ²	modul elastičnosti
F	N	sila
F_{\max}	N	maksimalna sila
h	mm	debljina uzorka
L_0	mm	početna duljina uzorka
ΔL	mm	produljenje uzorka
l	mm	duljina mjehura
p_{\max}	mmHg	maksimalni intravezikalni tlak
S_0	mm ²	početna površina poprečnog presjeka uzorka
ε	-	deformacija
σ	N/mm ²	naprezanje

SAŽETAK

Cistotomija je kirurški zahvat pri kojem se reže stijenka mokraćnog mjehura. Najčešće se koristi u humanoj i veterinarskoj medicini za kirurško liječenje mokraćnih kamenaca. Rez cistotomije potrebno je zatvoriti i za to se koriste različite kirurške tehnike. Standardne tehnike su korištenje resorbirajućih monofilamentnih materijala za šivanje korištenjem pojedinačnog čvorastog ili produžnog šava s čvoranjem na početku i na kraju šava. Zbog nedostataka standardne tehnike zatvaranja reza cistotomije, kao što su produženo vrijeme šivanja i prisutnost čvorova koji mogu lokalno iritirati tkivo unutar abdomena, potrebno je uvođenje novih tehnika. U ovom radu, osim standardne tehnike, ispitan je utjecaj zatvaranja reza cistotomije kožnim staplerom i koncem s postranim kukicama na vrijednost maksimalnoga intravezikalnog tlaka i vrijeme potrebno za zatvaranje reza, a statičkim vlačnim testom ispitana je vlačna čvrstoća rane ovisno o tehnici zatvaranja. Kako bi se dobio bolji uvid u način popuštanja rane zatvorene različitim tehnikama, tijekom provedbe statičkoga vlačnog ispitivanja pomaci u području rane mjereni su optičkim mjernim sustavom *Aramis*. Osim toga, ispitana su i mehanička svojstva tkiva svinjskog mjehura u dva međusobno okomita smjera.

Rezultati ispitivanja pokazali su da je razlika u maksimalnom intravezikalnom tlaku između pojedinih skupina uzoraka statistički značajna. Za uzorke zatvorene staplerom i koncem s postranim kukicama zabilježene su manje vrijednosti maksimalnoga intravezikalnog tlaka od onih zatvorenih standardnim načinom. Usporedbom vremena potrebnoga za zatvaranje reza cistotomije uočeno je da između standardne i tehnike zatvaranja korištenjem konca s postranim kukicama nema statistički značajne razlike, a zatvaranje reza staplerom znatno je brže. Statičkim vlačnim ispitivanjem čvrstoće rane uočeno je da nema statistički značajne razlike, ovisno o tehnici zatvaranja reza. Analiza mehaničkoga ponašanja tkiva svinjskog mjehura u dva međusobno okomita smjera pokazala je da postoji statistički značajna razlika u mehaničkim svojstvima ovisno o mjestu uzimanja uzorka.

Maksimalni intravezikalni tlak izmjeren nakon šivanja reza cistotomije standardnom tehnikom bio je najveći i opravdao je primjenu standardne tehnike svakodnevno korištene pri zatvaranju reza cistotomije, iako je fiziološki intravezikularni tlak u svinje niži nego vrijednosti izmjerene nakon zatvaranja reza cistotomije staplerom ili koncem s postranim kukicama.

Ključne riječi: svinjski mokraćni mjehur, cistotomija, stapler, konac s postranim kukicama, vlačno ispitivanje

SUMMARY

Cystotomy is a surgical procedure in which the bladder wall is opened, and is a common medical practice for the surgical treatment of the bladder. Various surgical techniques are used to close the cystotomy incision. Standard techniques imply the use of absorbable monofilament suturing materials, using simple knots or a simple continuous suture pattern with knots at the beginning and end of the suture. Due to a lack of standard suturing techniques for the cystotomy cut, such as an extended suturing time and presence of knots that can locally irritate tissues within the abdomen, there is a need for new techniques. This paper investigates the impacts of closure of the cystotomy incision, in addition to standard suturing methods, using skin staplers and barbed sutures, on the values of maximum intravesical pressure and the time needed to close the wound, while static tensile tests were used to investigate the tensile strength of the wound with regard to the closure technique. In order to obtain better insight into the ways wounds strength following different closure techniques, during the static tensile test, displacements in the wound area were measured using the *Aramis* optical measurement system. Additionally, the mechanical properties of porcine bladder tissue were tested in two perpendicular directions.

The testing results indicated that there was a statistically significant difference in the maximum intravesical pressure between samples. Samples closed with a stapler and barbed suture achieved lower values of maximum intravesical pressure than those samples closed with standard suturing techniques. A comparison of the time needed to close the cystotomy cut showed no statistically significant differences between the standard techniques and closure technique using barbed suture, while closure using the skin stapler was significantly faster. Static tensile testing of wound strength indicated no statistically significant differences with regard to wound closure technique. Analysis of the mechanical behaviour of porcine bladder tissue in two perpendicular directions indicated that there was a statistically significant difference in the mechanical properties with regard to the sampling site.

The maximum intravesical pressure measured following suturing of the wound was highest using standard techniques, and justified the use of the standard techniques used regularly in the closure of cystotomy cuts, even though the physiological intravesical pressure in porcine was lower than the values measured after the closure of the cystotomy cut using a skin stapler or barbed suture.

Key words: porcine bladder, cystotomy, stapler, barbed suture, tensile testing

1. UVOD

Generalni trendovi u ljudskoj i veterinarskoj medicini usmjereni su uglavnom na smanjenje invazivnosti i vremena trajanja operacija, budući da se smanjenjem oba čimbenika indirektno smanjuje i stopa postoperacijskih infekcija. Postoperacijske infekcije značajno povećavaju cijenu liječenja produžavanjem vremena hospitalizacije pacijenta, a mogu dovesti i do smrti pacijenta. U svijetu 400 milijuna ljudi boluje od bolesti i poremećaja mokraćnog sustava [1]. Karakterizacija mehaničkog ponašanja zdravoga mokraćnog mjehura potrebna je za određivanje što uspješnijega operacijskog procesa liječenja bolesti te za razvoj novih materijala i metoda za rekonstrukciju tkiva mokraćnog mjehura. Ispitivanja mehaničkih svojstava tkiva te ispitivanja uspješnosti pojedinih operacijskih zahvata, uglavnom se prvo provode na životinjama, i to onim životinjama koje imaju građu pojedinog tkiva sličnu ljudskomu tkivu. Tek nakon uspješno provedenih ispitivanja na životinjama, nove tehnike počinju se primjenjivati u humanoj medicini.

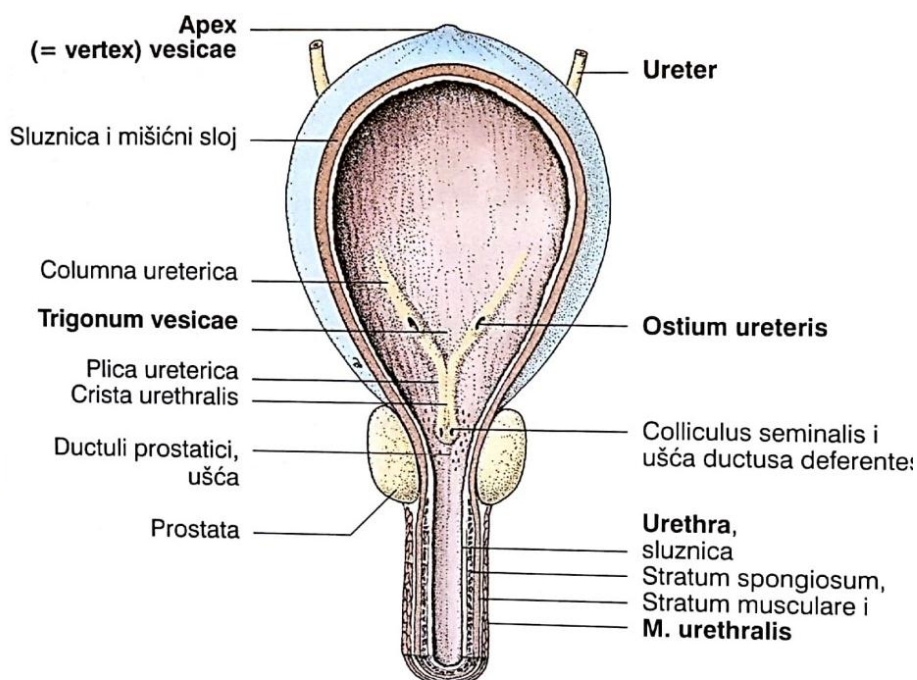
U ovom radu provedeno je istraživanje utjecaja tehnike zatvaranja reza cistotomije na maksimalni intravezikalni tlak. Ispitivanja su provedena na svježim uzorcima svinjskoga mokraćnog mjehura. Uz određivanje maksimalnoga intravezikalnog tlaka kod različitih tehnika zatvaranja reza cistotomije ispitana je i čvrstoća cistotomske rane pri jednoosnom statičkom vlačnom testu. A kako je tkivo svinjskoga mjehura anizotropno, istim testom ispitana su i mehanička svojstva tkiva za dva međusobno okomita smjera.

U uvodnom poglavlju ovog rada opisana je građa mokraćnog mjehura, objašnjena je cistotomija zajedno s tehnikama zatvaranja te je dan pregled dosadašnjih istraživanja iz područja mehaničkog ponašanja tkiva svinjskog mjehura i tehnika zatvaranja reza cistotomije. Ciljevi i hipoteza rada navedeni su u drugom poglavlju rada. U trećem poglavlju opisani su materijali i metode korištene u ovom istraživanju; opisana je priprema uzoraka za ispitivanje, vrste i načini provedbe eksperimenata te kako su dobiveni rezultati statistički analizirani. Rezultati ispitivanja prikazani su u četvrtom, a rasprava je dana u petom poglavlju. Zaključci su navedeni u šestom poglavlju.

1.1. Mokraćni mjehur

Mokraćni mjehur šuplji je sluznično-mišićni organ koji pripada mokraćnom sustavu. Služi kao privremeni spremnik za mokraću (urin) koja mokraćovodima (ureterima) dolazi iz

bubrega, a kroz mokraćnu cijev izlazi iz mjehura. Mokraćni mjehur karakterističan je zbog mogućnosti proširivanja, odnosno zbog promjene oblika i veličine ovisno o svojem sadržaju. Mokraćni mjehur malen je i kuglast dok je prazan i kontrahiran, te u tom slučaju leži u zdjeličnoj šupljini na stidnim kostima. Kako se puni mokraćom, tako polagano mijenja oblik i postaje kruškolikog oblika [2]. U građi mokraćnog mjehura prepoznaju se tri dijela: kranijalni dio tj. vrh (*apex*), srednji dio odnosno tijelo (*corpus vesicae*) i kaudalni dio – vrat mjehura (*cervix vesicae*). Anatomija mokraćnog mjehura prikazana je na slici 1.



Slika 1 Shematski prikaz mokraćnog mjehura [2]

Stijenku mokraćnog mjehura čine 4 sloja: *tunica mucosa*, *tela submucosa*, *tunica muscularis* i *tunica serosa*. Slojevi su pretežno mišićne građe, što omogućuje promjene oblika i veličine mjehura, ovisno o njegovom sadržaju. Mukozni sloj (*tunica mucosa*) najdublji je, odnosno unutarnji sloj stijenke mokraćnog mjehura, a sastoji se od nekoliko (5-7) prijelaznih slojeva epitelnih stanica koje prilagođavaju oblik ovisno o volumenu tekućine unutar mjehura. Submukozni sloj (*tela submucosa*), poznat i kao lamina propria, sastoji se od vezivnog tkiva i vlakana elastina između kojih su smješteni živci te krvne i limfne žile. Ponaša se kao klizna ploča koja omogućuje mukozu da mijenja svoj oblik ovisno o volumenu tekućine u mjehuru. *Tunica muscularis* sastoji se od triju slojeva isprepletenih glatkih mišićnih vlakana koji čine mišić detruzor (*musculus detrusor vesicae*). Serozni sloj pokriva gornji i stražnji lateralni dio

mjihura. Ostali dijelovi stijenke mokraćnog mjehura pokriveni su masnim vlaknastim vezivnim tkivom. [1]

Najčešće bolesti koje se dijagnosticiraju vezano uz mokraćni mjehur su mokraćni kamenci, a obično se liječe cistotomijom ili uretrotomijom [3].

1.2. Cistotomija

Cistotomija je kirurški zahvat pri kojem se izvodi rez stijenke mokraćnog mjehura. Indikacije za cistotomiju su uklanjanje mokraćnih kamenaca, rekonstrukcija mokraćnog mjehura nakon traume, biopsija, korekcija ektopičnih uretera i dr. [4]. Mokraćni mjehur može se otvoriti s njegove ventralne i dorzalne strane. Kada je u pitanju prijanjanje tkiva, mogućnost curenja mokraće ili mogućnost nastanka kamenaca, ne postoji razlika između ventralne i dorzalne cistotomije, no prednost se daje otvaranju s ventralne strane zbog bolje preglednosti mjehura [3,4]. Cistotomija se najčešće koristi u humanoj i veterinarskoj medicini za kirurško liječenje mokraćnih kamenaca. Rez cistotomije potrebno je i zatvoriti, a za to se odabiru različite kirurške tehnike.

1.2.1 Tehnike zatvaranja reza cistotomije

Standardne tehnike za zatvaranje reza cistotomije podrazumijevaju korištenje resorbirajućih monofilamentnih materijala za šivanje korištenjem pojedinačnog čvorastog ili produžnog šava s čvoranjem na njegovu početku i na kraju. Pod monofilamentnim materijalima podrazumijevaju se konci sačinjeni od jedne niti, a multifilamentni konci sačinjeni su od više niti. Multifilamentni konci lakši su za rukovanje i čvorovi su mnogo sigurniji, no loše svojstvo je pojava trenja pri prolasku kroz tkivo, što povećava traumu te se zato ne preporučuje njihovo korištenje kod finih tkiva kao što je tkivo mokraćnog mjehura. Za resorbirajuće materijale karakteristična je mogućnost samorazgradnje. Resorbirajući kirurški konci postupno gube snagu podržavanja tkiva, a većinu čvrstoće izgube unutar 60 dana od implantacije u tkivu. Ako je riječ o mokraćnom mjehuru, čvrstoća konaca izgubi se i mnogo prije, ako je konac u kontaktu s mokraćom, a posebice ako se u mokraći nalaze bakterije poput *Proteus spp.* Nedostaci standardne tehnike zatvaranja reza cistotomije su: produženo vrijeme šivanja te prisutnost čvorova na početku i na kraju šava, što može lokalno iritirati tkivo unutar abdomena.

Danas se pri kirurškim zahvatima koristi novi materijal za šivanje s postranim kukicama koje onemogućuju njegovo proklizavanje unatrag i izvlačenje iz kirurške rane. Materijal s postranim kukicama patentiran je u SAD-u 1964. godine [5]. Proizveden je tako da po cijeloj

duljini ima jednosmjerne ili dvosmjerne kukice koje se smještaju u tkivo te stvaraju mnogo točaka za prenošenje opterećenja duž linije šava. Ako se koristi taj novi materijal, nije potrebno postavljanje početnoga i završnoga kirurškog čvora, čime se skraćuje vrijeme šivanja, posebice u slučaju laparoskopskih zahvata. Naime, materijal na svojem završetku ima omču kroz koju se provuče igla pa se tako izbjegava postavljanje početnoga kirurškog čvora, a umjesto postavljanja završnoga čvora dovoljno je nit prerezati blizu kože jer postrane kukice sprječavaju proklizavanje materijala unatrag i popuštanje kirurške rane [6]. Prednosti materijala s postranim kukicama su: skraćeno vrijeme šivanja rane i smanjenje trajanja operacije, manji broj komplikacija zbog ravnomjernijeg rasporeda opterećenja duž linije šava te jednolik izgled šava [5]. Istraživanja provedena na koži svinja pokazala su da je vlačna čvrstoća ovog materijala slična standardnim monofilamentim materijalima. Najčešće se koristi za šivanje intrakutanih šavova, popravak tetiva te u plastičnoj kirurgiji kod ljudi [6], a u novije vrijeme sve je više literaturnih podataka o njegovom korištenju pri zatvaranju reza enterotomije, pri gastropeksiji [5,7-9] i drugim zahvatima. Nema dovoljno podataka o korištenju ovog materijala pri šivanju reza cistotomije. Prednost ove metode rekonstrukcije mokraćnoga mjehura jest izostanak čvorova na početku i kraju šava. Čvorovi su potencijalno opasni jer mogu izazvati lokalnu iritaciju tkiva.

Kožni stapleri koriste se za brzo zatvaranje kožnog reza i uvelike skraćuju vrijeme šivanja. Najveća prednost, u odnosu na konvencionalne metode šivanja, jest brzina i smanjena mogućnost kontaminacije rane zbog smanjene manipulacije tkivom. Izbacivanjem staplica tkivo se istovremeno buši, a rubovi rane se spajaju. Osim za šivanje kože, opisano je korištenje staplera pri šivanju crijeva (enterotomija) [10-12], ali nije opisano korištenje staplera za zatvaranje reza cistotomije.

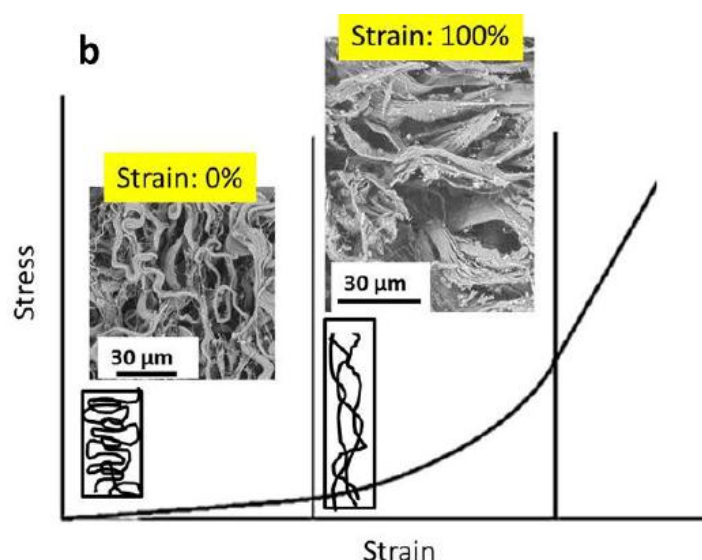
1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja

1.3.1 Mehaničko ponašanje tkiva svinjskog mjehura

Istraživanja su pokazala da tkivo svinjskoga i ljudskoga mokraćnog mjehura ima slične mehaničke karakteristike [1,13]. One ovise o povijesti opterećenja, brzini opterećivanja i trajanju opterećenja, a uočene su i razlike u mehaničkim svojstvima tkiva mjehura između mlađih i starijih pacijenata [1]. Podrazumijeva se da je mehaničko ponašanje mokraćnog mjehura anizotropno [1,14] te se preporučuje – ako je riječ o jednoosnom ispitivanju - ispitivati uzorke dobivene iz dva međusobno okomita smjera, odnosno uzorke u uzdužnom i

poprečnom smjeru [13]. Ako se uzme u obzir da je mjehur unutar trbušne šupljine tijekom punjena i pražnjenja urinom složeno opterećen, poželjno je i višeosno ispitivanje uzoraka.

Jednoosno ispitivanje pruža vrijedne informacije o vlačnoj čvrstoći tkiva mokraćnog mjehura i o njegovu anizotropnom ponašanju. Vlakna od kojih je mjehur građen raspoređena su u različitim smjerovima i taj neravnomjerni raspored vlakana zapravo mjehuru daje anizotropna svojstva. Na slici 2 prikazana je krivulja naprezanje-deformacija za stijenku mokraćnog mjehura. Slično kao i kod ostalih mekih bioloških tkiva (koža, krvne žile itd.), u dijagramu naprezanje-deformacija mogu se prepoznati tri područja. Na početku je vidljivo pretežito linearno područje, to je područje u kojemu se tkivo ponaša elastično – velika promjena deformacije uzrokuje mala naprezanja. Na njega se nastavlja izrazito nelinearan dio dijagrama, odnosno tkivo se u tom dijelu ponaša nelinearno. Na kraju, u trećem dijelu dijagrama, ponovno se prepoznaje linearno područje, no za razliku od prvog dijela, u ovom dijelu male promjene deformacije izazivaju velika naprezanja.

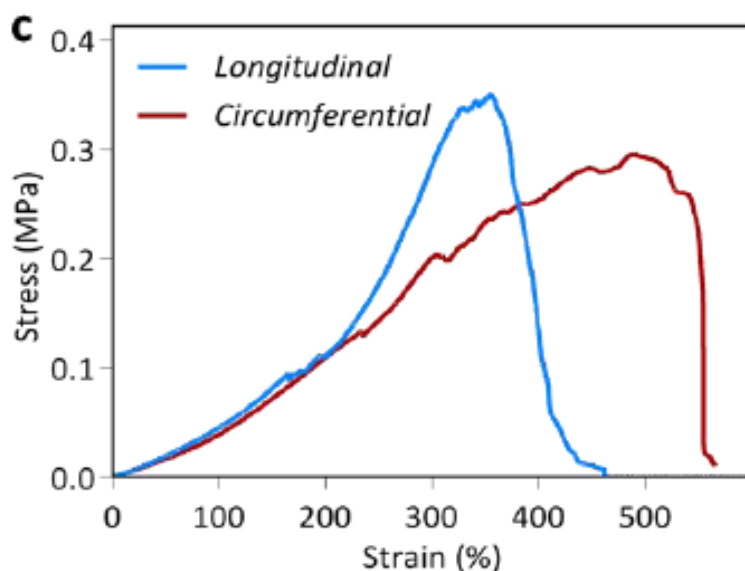


Slika 2 Krivulja naprezanje-deformacija za stijenku mokraćnog mjehura s prikazom orijentacije vlakana kolagena [13]

Nagib krivulje prikazane na slici 2 neznatno se mijenja pri malim vrijednostima deformacije dok kod velikih vrijednosti deformacije eksponencijalno raste. Ta je promjena osobito izražena za vrijednosti deformacije veće od 200% početne duljine. Te pojave mogu se objasniti rasporedom i ponašanjem valovitih i uvijenih različitih vrsta vlakana kao što su, npr. vlakna kolagena u stijenci mokraćnog mjehura. Poznato je da je stijenka mokraćnog mjehura sačinjena od kompleksne vlaknima ojačane strukture [13]. U relaksiranoj fazi, vlakna kolagena umotana su u oblik romba. Naime, potrebna je mala vrijednost naprezanja da bi se

postigle velike deformacije (tkivo u toj fazi ima malu krutost) i većina energije opterećenja pohranjena je u upetljanim vlaknima. Kao što se vidi na slici 2, u početnom dijelu dijagrama gdje su deformacije male krivulja je približno linearna, a kako opterećenje raste, vlakna kolagena se izdužuju, odmotavaju te orijentiraju u smjeru djelovanja vanjskog opterećenja te se i dalje rastežu u tom smjeru. Krivudava vlakna kolagena nastavljaju se odmotavati te produljivati u smjeru djelovanja opterećenja sve do trenutka dok se potpuno ne istegnu. Uspravna vlakna kolagena brzo odgovaraju na narinuto opterećenje, odnosno imaju veliku krutost te se stijenka mokraćnog mjehura počinje ponašati kruto. Krivulja naprezanje-deformacija ponovno je linearna te raste sve dok ne dostigne krajnju vlačnu čvrstoću, odnosno do trenutka u kojem vlakna počinju pucati.

Korrosis i sur. [14] i Jokandan i sur. [13] zaključili su da se uzorci svinjskih mjehura do određene vrijednosti deformacije ponašaju izotropno, a nakon te vrijednosti krutost je nešto veća u uzdužnom smjeru (Slika 3). Nasuprot tomu, Zanetti i sur. [1] uočili su da je krutost uzoraka veća u poprečnom smjeru. Naravno, ova opažanja ovisna su o parametrima samog ispitivanja (brzina opterećivanja, način čuvanja uzoraka, temperatura, spol životinje itd.). Parametri navedenih istraživanja razlikuju se, i zato je dobivene rezultate teško međusobno usporediti.



Slika 3 Razlika između uzdužnih (plavo) i poprečnih (crveno) uzoraka [13]

Kako je cilj ispitivanja opisati biomehaniku stijenke mokraćnog mjehura u fiziološkim uvjetima, potrebno je uzeti u obzir podatak da se mokraćni mjehur u normalnim, fiziološkim uvjetima puni brzinom 1-2 mL/min, stoga je poželjno u ispitivanjima mehaničkih svojstava koristiti što manju brzinu opterećenja. Budući da su Jokandan i sur. [13] uzorke ispitivali

veoma malom brzinom 0.4%/s njihova opažanja mogu se smatrati mjerodavnima. Osim što su uočili da se stijenka mokraćnog mjehura ponaša izotropno sve do 200% deformacije, a nakon toga krutost je nešto veća u uzdužnom smjeru, uočili su i da elastičnost stijenke mokraćnog mjehura pada s porastom deformacije. Testovima relaksacije pokazano je da viskoelastična svojstva stijenke mokraćnog mjehura nisu ovisna o orijentaciji uzoraka [1].

1.3.2 Zatvaranje reza cistotomije

Problemi koji se mogu javiti kod standardnog načina šivanja korištenjem resorbirajućih monofilamentnih materijala za šivanje korištenjem pojedinačnog čvorastog ili produžnog šava s čvoranjem na početku i na kraju šava su: stvaranje mokraćnih kamenaca, gubitak čvrstoće konca prije nego je to potrebno, prisutnost čvorova koji mogu dražiti tkivo unutar abdomena, produženo vrijeme šivanja [4]. Zbog prethodno navedenih problema postoji potreba za uvođenjem novih materijala i tehnika za zatvaranje reza cistotomije.

U literaturi postoje podaci o korištenju konca s postranim kukicama, a samo u nekoliko istraživanja spominje se njegova uporaba pri zatvaranju reza cistotomije [6,15,16]. Gözen i sur. [16] prvi su usporedili korištenje tradicionalnih materijala i materijala s postranim kukicama za zatvaranje reza cistotomije. Rez na mokraćnim mjehurima zatvarali su laparoskopski, a istraživanje je provedeno na svinjskim mokraćnim mjehurima. Istraživanjem je zaključeno da je laparoskopski zahvat puno brži i učinkovitiji ako se koristi materijal s postranim kukicama. Montel i sur. [6] uspoređivali su vrijeme šivanja tijekom otvorenog zahvata i tlak pri kojem dolazi do popuštanja cistotomske rane, ovisno o tome koristi li se standardni monofilamentni resorbirajući konac i produžni šav s čvoranjem na početku i kraju šava ili produžni šav s postranim kukicama čija primjena ne zahtjeva postavljanje početnoga i završnoga čvora. Rezultati istraživanja pokazali su da ne postoji značajna razlika u vremenu šivanja kao ni u maksimalnom tlaku između ovih dviju tehnika, no kako je broj uzoraka bio relativno malen potrebno je provesti dodatna ispitivanja s većim brojem uzoraka kako bi se dobili što pouzdaniji rezultati. Kieves i sur. [5] u istraživanju provedenom na kadaveričnim psećim mokraćnim mjehurima opazili su da nema razlike ni u početnom ni u maksimalno postignutom tlaku između uzoraka šivanih standardnim šavom i onih šivanih koristeći materijal s postranim kukicama. Ruzickova i sur. [15] ispitivanja su proveli na kadaveričnim mokraćnim mjehurima konja. Uspoređivali su maksimalni tlak te vrijeme šivanja, ovisno o tome je li rez cistotomije zatvaran standardnom tehnikom korištenjem monofilamentnih resorbirajućih materijala ili upotrebnom materijala s postranim kukicama. Rezultati ispitivanja pokazali su da nema značajne razlike u maksimalnom tlaku, ovisno o materijalu kojim je rez

cistotomije zatvoren, a ako se za šivanje koristi automatski uređaj za laparoskopsko šivanje, vrijeme šivanja je znatno kraće korištenjem materijala s postranim kukicama. Nedostatak ispitivanja jest to što životinje nisu bile jednake dobi, svi mjehuri nisu bili od životinja istog spola i postojala velika varijabilnost u veličini samih mjehura.

Omotosho i sur. [8] u provedenom istraživanju zaključili su kako materijal s postranim kukicama ima prednost pred tradicionalnim monofilamentnim šavovima kod gastrotomije i enterotomije u pasa. Do sličnog zaključka došli su i Nemecek i sur. [9]. Budući da korištenjem konca s postranim kukicama (V-Loc) nema potrebe za postavljanjem početnog i završnog čvora trajanje operacije je značajno kraće, posebice u slučaju laparoskopskih zahvata. Osim toga zaključili su i da rane zatvorene pomoću V-Loc-a podnose veći tlak u usporedbi sa standardnim materijalom. Zbog gore navedenog, Nemecek i sur. [9] također smatraju da pri kirurškim zahvatima na probavnom traktu, materijal s postranim kukicama ima prednost pred standardnim monofilamentnim materijalima. Chamsy i sur. [17] u *in vivo* istraživanju primijetili su da je materijal s postranim kukicama siguran i idealan za rekonstrukciju stijenke mokraćnog mjehura i crijeva, no, kao i ostali istraživači, smatraju da su potrebna dodatna istraživanja i usporedbe standardnih monofilamentnih šavova i novog materijala s postranim kukicama prije opće kliničke upotrebe kako bi se otkrile i uklonile moguće komplikacije.

Gandini i sur. [10] proučavali su utjecaj tehnike zatvaranja reza enterotomije kod konja, a jedna od korištenih tehnika bila je zatvaranje reza pomoću kožnih staplera. Istraživanjem su pokazali da nema statistički značajne razlike u maksimalnom tlaku između reza zatvorenoga kožnim staplerima i reza zašivenoga produžnim šavom. Zaključak samog istraživanja je da se stapleri mogu koristiti za zatvaranje reza enterotomije uz odgovarajuća *in vivo* istraživanja prije opće kliničke upotrebe. Rosser i sur. [11] uočili su da je vrijeme potrebno za zatvaranje reza enterotomije staplerima značajno kraće od vremena potrebnoga za zatvaranje istoga reza standardnim tehnikama, dok kod vrijednosti maksimalnog tlaka nema statistički značajne razlike između ovih dviju tehnika. Također, pokazano je i kako nema značajne razlike u komplikacijama koje se mogu javiti nakon operacije, ovisno o tome jesu li korišteni stapleri ili produžni šav [12].

2. CILJEVI I HIPOTEZA RADA

Ciljevi rada:

1. utvrditi utječe li se alternativnim metodama zatvaranja reza cistotomije na maksimalni intravezikalni tlak u usporedbi sa standardnom metodom zatvaranja,
2. utvrditi osiguravaju li alternativne metode zatvaranja reza cistotomije dostatnu čvrstoću cistotomske rane,
3. utvrditi skraćuju li alternativne metode zatvaranja reza cistotomije vrijeme zatvaranja rane,
4. utvrditi postoji li razlika u mehaničkim svojstvima uzoraka u uzdužnom i poprečnom smjeru mokraćnog mjehura.

Hipoteza rada:

1. alternativne metode zatvaranja reza cistotomije osiguravaju dostatni maksimalni intravezikalni tlak,
2. nema značajne razlike u vlačnoj čvrstoći rane kod različitih tehnika zatvaranja,
3. korištenje alternativnih metoda ne produljuje vrijeme trajanja operacije,
4. mehanička svojstva svinjskog mokraćnog mjehura različita su u uzdužnom i poprečnom smjeru.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Priprema uzoraka

Uzorci svježih svinjskih mjehura dobiveni su iz klaonice PIK Vrbovec M.I. d.d. odmah nakon klanja te su u prijenosnom hladnjaku transportirani na Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Životinje su bile iz istoga tova, starosti šest mjeseci i prosječne mase oko 115 kg. Svi uzorci ispitani su svježi, u roku najviše 12 sati od preuzimanja uzoraka. Tijekom transporta mokraćni mjehuri bili su hladnjaku uronjeni u fiziološku otopinu temperature oko 4°C.

U ovom istraživanju uzorci su, s obzirom na način pripreme i ispitivanja, podijeljeni u nekoliko skupina i podskupina:

1. Uzorci za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka – ukupno 45 uzoraka koji su, ovisno o načinu zatvaranja reza cistotomije, podijeljeni u 3 podskupine:
 - a) rana cistotomije zatvorena standardnim šavom - 15 uzoraka,
 - b) rana cistotomije zatvorena staplerom – 15 uzoraka,
 - c) rana cistotomije zatvorena koncem s postranim kukicama – 15 uzoraka.
2. Uzorci za statičko vlačno ispitivanje mehaničkog ponašanja tkiva svinjskog mjehura - ukupno 14 uzoraka koji su, ovisno o mjestu uzimanja uzorka, podijeljeni u 2 podskupine:
 - a) uzorci izrezani iz poprečnog smjera mjehura – 7 uzoraka,
 - b) uzorci izrezani iz uzdužnog smjera mjehura – 7 uzoraka.
3. Uzorci za statičko vlačno ispitivanje čvrstoće rane cistotomije - ukupno 22 uzorka koji su podijeljeni u jednu kontrolnu i tri ispitne podskupine:
 - a) kontrolna skupina, intaktni uzorci – 7 uzoraka,
 - b) rana zatvorena standardnim šavom – 5 uzoraka,
 - c) rana zatvorena staplerom – 5 uzoraka,
 - d) rana zatvorena koncem s postranim kukicama – 5 uzoraka.

Za ovo istraživanje postoji odobrenje Povjerenstva za etiku u veterinarstvu Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Klasa: 640-01/18-17/31, Ur. broj: 251-61-44/168-18-02, Zagreb, 3. svibnja 2018.

3.1.1 Uzorci za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka

Svaki uzorak postavljen je na kirurški stol gdje je i pripremljen za ispitivanje. Najprije je određena ventralna strana uzorka te je izmjerena duljina od vrha do vrata mokraćnog mjehura. Nakon toga tkivnim hvataljkama zatvoreni su ureteri te je na ventralnoj stijenci uzorka učinjen rez duljine 4 cm (Slika 4).



Slika 4 Rez na ventralnoj strani uzorka

Rez cistotomije zatvaran je različitim kirurškim tehnikama te su uzorci, ovisno o načinu zatvaranja reza, podijeljeni u tri skupine. U prvoj skupini uzoraka rez cistotomije zatvaran je korištenjem produžnog šava (Biosyn 3-0, Covidien, SAD). Biosyn je monofilamentni sintetički resorbirajući konac od sintetičkog poliestera (*Glycomer 631*) koji se sastoji od 60% glikolida, 14% dioksanona i 26% trimetil-karbonata [18]. Na početku šava postavljena su dva, a na kraju tri kvadratna čvora. Vrijeme šivanja mjereno je od prvog uboda igle do postavljanja zadnjeg čvora. Duž reza postavljeno je ukupno 15 šavova (Slika 5).



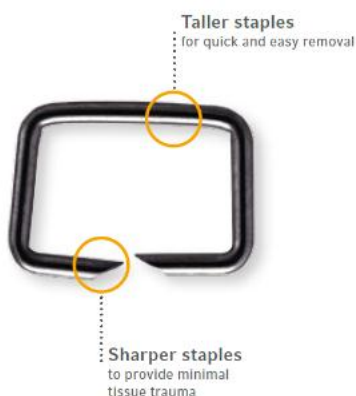
Slika 5 Rez cistotomije zatvoren produžnim šavom

Drugu skupinu uzoraka čine uzorci na kojima je rez cistotomije zatvaran kožnim staplerom (Weck Visistat® 35R Skin Stapler, Teleflex, SAD) (Slika 6). Kožni stapleri Weck Visistat vrlo su jednostavni za uporabu. Svaki stapler sadrži 35 staplica od nehrđajućeg medicinskog čelika [19]. Kao što se vidi na slici 7, staplica je oštra na kraju, što je poželjno jer smanjuje traumu tkiva.

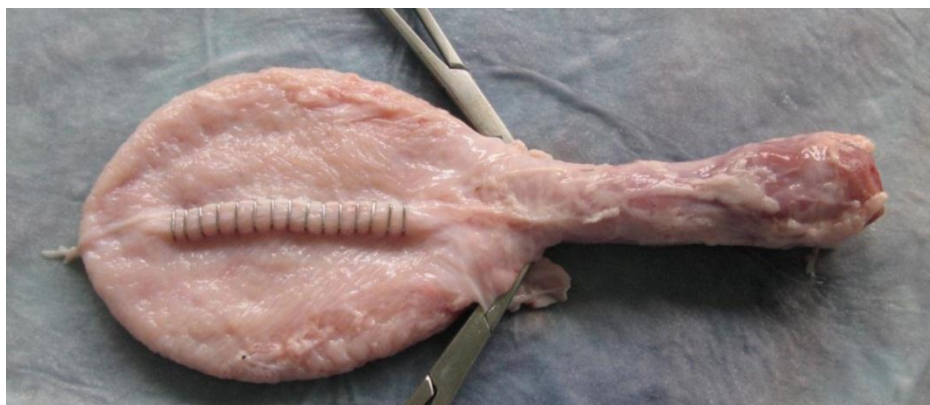


Slika 6 Weck Visistat® 35R Skin Stapler

U ovom istraživanju korištene su staplice dimenzija 5,7 mm x 3,9 mm. Nakon što je na ventralnoj strani uzorka učinjen rez od 4 cm, rez se zatvara kožnim staplicama. Na slici 8 prikazan je uzorak s rezom cistotomije zatvorenim kožnim staplerom. Duž reza postavljeno je 15 staplica ili spajalica. Tijekom zatvaranja reza mjereno je potrebno vrijeme.



Slika 7 Staplica [19]

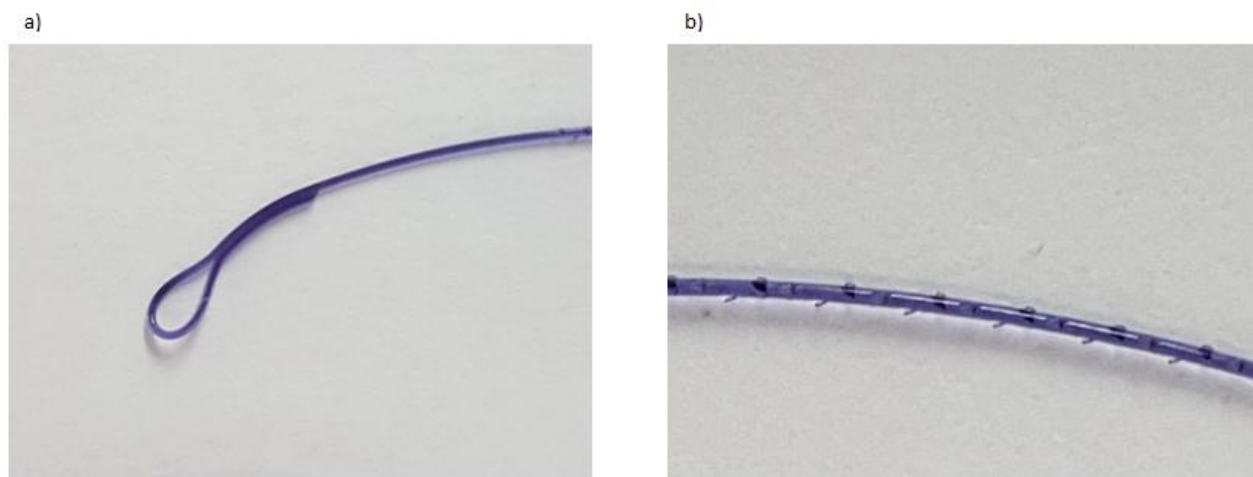


Slika 8 Rez cistotomije zatvoren staplerima

Kod treće skupine uzoraka rez cistotomije zatvaran je korištenjem materijala s postranim kukicama (V-Loc™ 90 3-0, Covidien, SAD) prikazanog na slici 9. Šivanjem pomoću ovog materijala izbjegava se potreba za postavljanjem početnoga i završnoga kirurškog čvora. Materijal na svom kraju ima omču (Slika 10a) kroz koju se provuče kirurška igla te se na taj način izbjegava postavljanje početnoga kirurškog čvora.

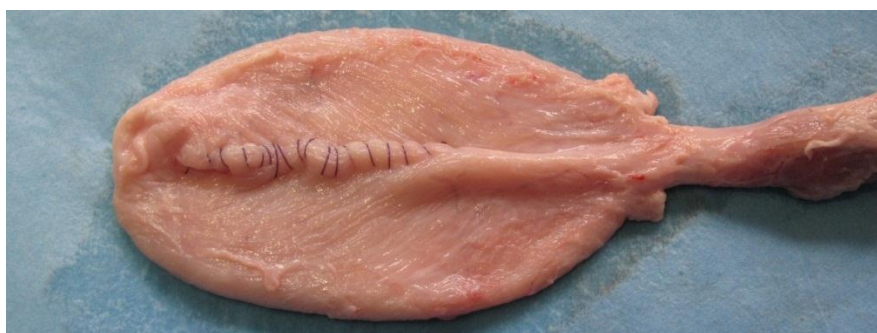


Slika 9 Konac V-Loc™ 90 3-0



Slika 10 V-LocTM uvećani prikaz: a) omče, b) postranih kukica

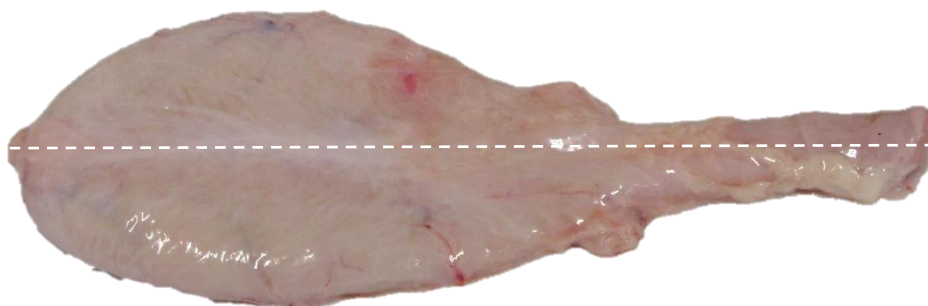
Na kraju šava dovoljno je samo prerezati materijal blizu tkiva, a postrane kukice (Slika 10b) sprječavaju proklizavanje konca unatrag i izvlačenje iz kirurške rane te se tako izbjegava potreba za postavljanjem završnoga kirurškog čvora. Uzorak na kojemu je za zatvaranje reza cistotomije korišten materijal s postranim kukicama prikazan je na slici 11.



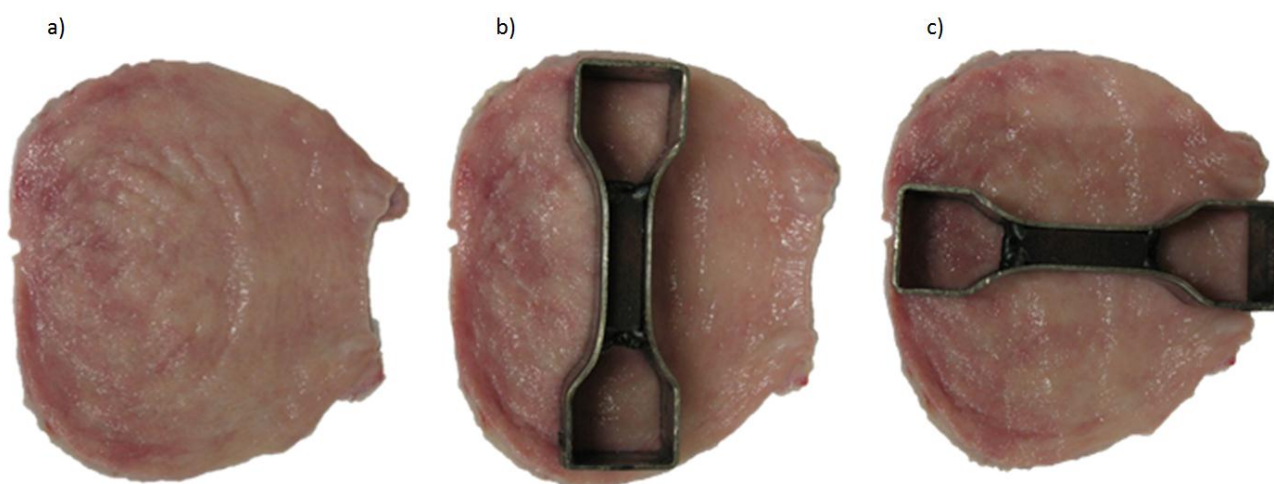
Slika 11 Rez cistotomije zatvoren koncem s postranim kukicama

3.1.2 Uzorci za statičko vlačno ispitivanje

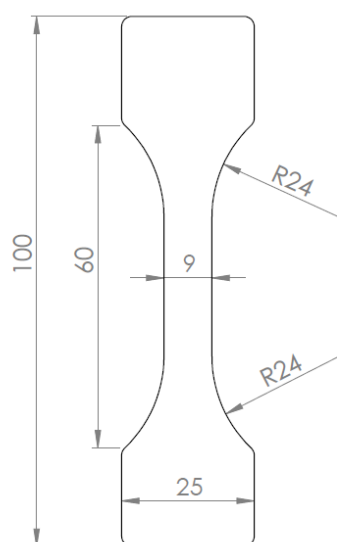
Za statičko vlačno ispitivanje korišteni su uzorci dobiveni iz svježega svinjskog mjehura izrezani u oblik klasičnih epruveta za vlačno ispitivanje. Mjehur je prerezan s dorzalne strane po dužini i nožem-kalupom iz svakog je mjehura ekscidiran po jedan uzorak. Ekscidiranjem uzoraka pomoću noža-kalupa osigurani su isti oblici i dimenzije svih ispitnih uzoraka. Uzdužni rez na dorzalnoj strani mjehura prikazan je bijelom isprekidanom linijom na slici 12. Nakon što se prereže, mjehur se rastvori te se iz njega ekscidiraju poprečni ili uzdužni uzorci, kao što je prikazano na slici 13. Bitno je napomenuti da je iz svakoga mokraćnog mjehura ekscidiran samo jedan uzorak, odnosno svi uzorci u pojedinoj skupini zapravo su iz istog dijela mjehura. Dimenzije uzoraka prikazane su na slici 14 i izražene su u milimetrima. Gotovi uzorak dobiven na opisani način prikazan je na slici 15.



Slika 12 Linija rezanja mokraćnog mjehura



Slika 13 Priprema poprečnih i uzdužnih uzoraka: a) prerezani mjehur, b) poprečni uzorak, c) uzdužni uzorak



Slika 14 Dimenzije uzoraka

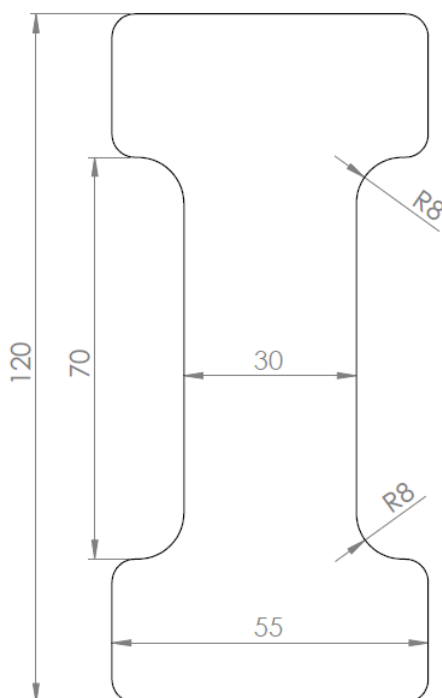


Slika 15 Uzorak za statičko vlačno ispitivanje

Svakom uzorku prije ispitivanja izmjerena je debljina. Budući da je tkivo mokraćnog mjehura nejednake debljine, debljina je mjerena na četiri mjesta na središnjem ispitnom dijelu uzorka te je izračunata srednja vrijednost. Mjerenje debljine mekih tkiva nije jednostavno provesti. U ovom slučaju, debljina je mjerena tako da je uzorak na ravnoj podlozi postavljen između dviju ravnih pločica te je pomičnom mjerkom izmjerena udaljenost između njih. Debljine uzoraka prikazane su zajedno s rezultatima u poglavlju **Pogreška! Izvor reference nije pronađen..**

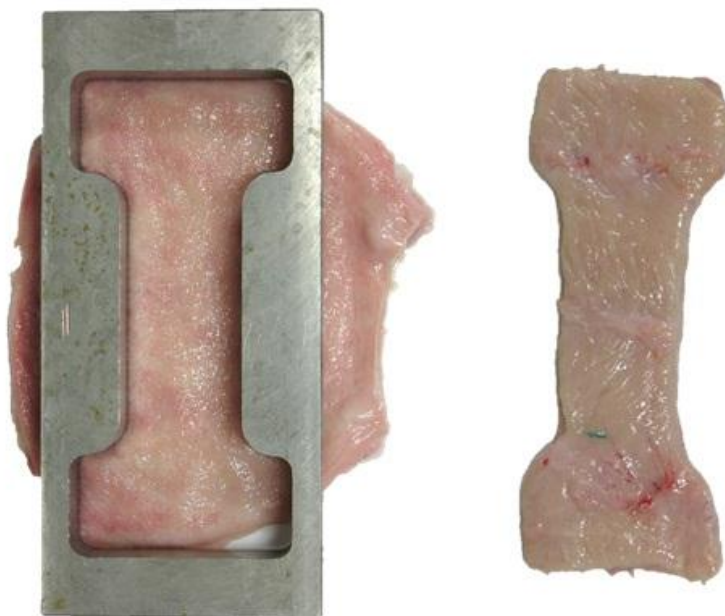
3.1.3 *Uzorci za ispitivanje vlačne čvrstoće rane cistotomije*

Osim ispitivanja intaktnih uzoraka za dva međusobno okomita smjera, dio uzoraka pripremljen je za ispitivanje čvrstoće rane cistotomije zatvorene svim trima tehnikama. Tijekom pripreme uzoraka za ova ispitivanja također je korišten nož-kalup, no ovaj put nešto većih dimenzija. Dimenzije uzoraka u milimetrima prikazane su na slici 16.



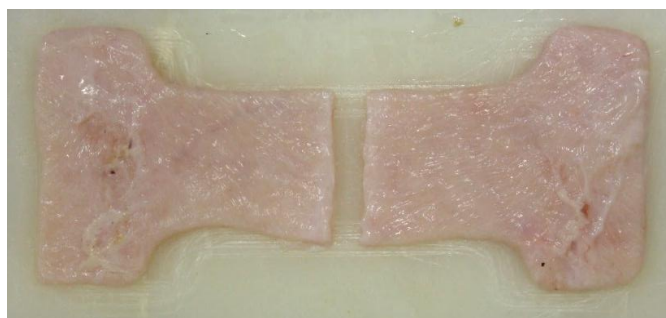
Slika 16 Dimenzije uzoraka za ispitivanje vlačne čvrstoće rane

Mjehur je prerezan kako je već opisano i prikazano na slici 12, zatim je kalup postavljen u poprečnom smjeru te je ekscidiran uzorak (Slika 17). Debljina uzoraka mjerena je na već opisani način.



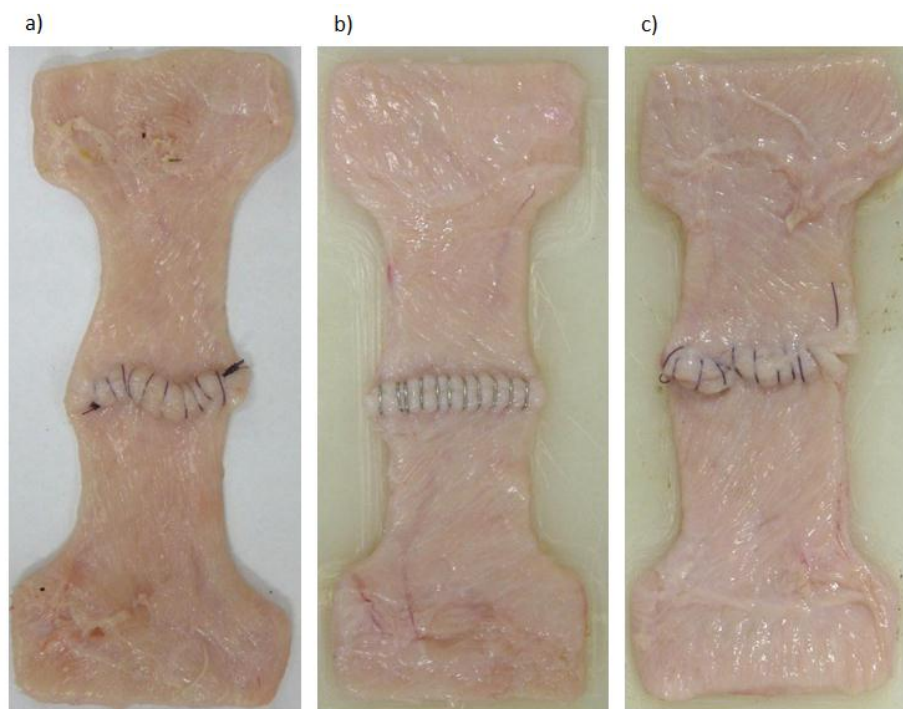
Slika 17 Priprema uzoraka

Intaktni uzorci pripremljeni za ispitivanje, kako je prikazano na slici 17, bili su zapravo kontrolna skupina, a uzorci prerezani prema slici 18 šivani opisanim tehnikama činili ispitne skupine uzoraka. Prilikom izrezivanja ovakvih uzoraka potrebno je obratiti posebnu pažnju da se rez i šav naprave na istom mjestu kao i kod mjehura prilikom ispitivanja maksimalnoga intravezikalnog tlaka, a za samo vlačno ispitivanje nužno je da je rana, odnosno šav, na sredini uzorka.



Slika 18 Uzorak pripremljen za šivanje

Na slici 19 prikazani su uzorci pripremljeni za ispitivanje vlačne čvrstoće rane ovisno o tehnici šivanja. Slika 19 a) prikazuje uzorak šivan standardnom tehnikom – monofilamentnim resorbirajućim koncem, b) rana zatvorena pomoću staplera, c) rana zatvorena materijalom s postranim kukicama (V-Loc).



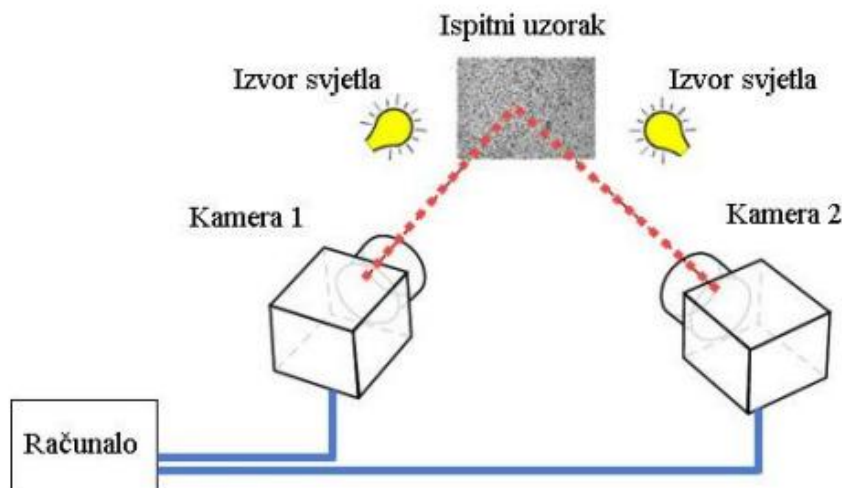
Slika 19 Uzorci za određivanje vlačne čvrstoće rane: a) standardni šav, b) stapler, c) V-Loc konac

Tijekom provedbe eksperimentalnog ispitivanja uzorci pripremljeni prema slici 19 snimani su beskontaktnim optičkim mjernim sustavom *Aramis* (GOM GmbH, Njemačka) koji omogućuje dobivanje polja pomaka na cijeloj mjernoj površini uzorka. Mjerenje optičkim sustavom *Aramis* zahtijeva dodatnu pripremu uzoraka pokazanih na slici 19. Mjerni sustav, priprema uzoraka i provedba mjerenja detaljno su opisani u poglavlju 3.2.

3.2. Optički mjerni sustav *Aramis*

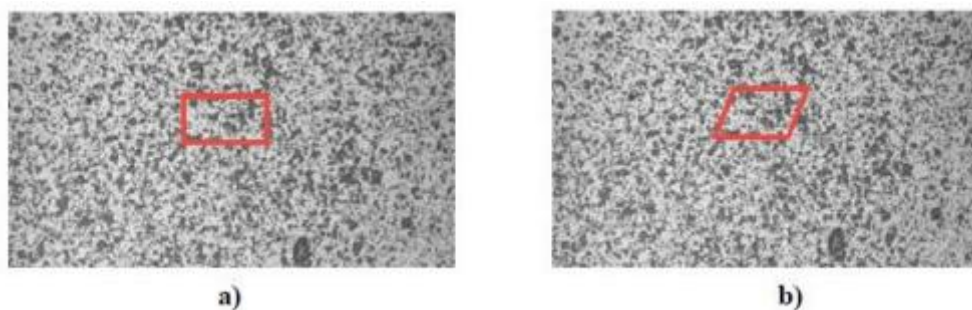
3.2.1 Metoda korelacije digitalne slike

Optički sustav sastoji se od dvije CCD kamere (engl. *charge-coupled device*), izvora svjetla i odgovarajućeg algoritma koji se temelji na lokalnom pristupu metode korelacije digitalne slike (engl. *Digital Image Correlation* - DIC). Shematski prikaz mjerenja dvjema kamerama dan je na slici 20.



Slika 20 Shema mjerenja dvjema kamerama primjenom korelacije digitalne slike [20]

Metoda se svodi na praćenje promjena položaja točaka na površini ispitnog uzorka usporedbom položaja mjernih točaka u deformiranom stanju s njihovim položajem u nedeformiranom stanju. Tijekom mjerenja snimaju se digitalne slike pri čemu je prva slika referentna i predstavlja nedeformirano stanje uzorka. Digitalne slike diskretiziraju se manjim poljima piksela koje se nazivaju fasetama (Slika 21), pri čemu središte svake fasete predstavlja mjernu točku.



Slika 21 Primjer stohastičkog rastera i crveno označena pravokutna faseta: a) faseta u referentnoj konfiguraciji, b) faseta u deformiranoj konfiguraciji [20]

Fasete su obično pravokutnoga ili kvadratičnog oblika i svaka ima jedinstvenu raspodjelu intenziteta sive boje koja ih čini međusobno različitima. Iz tog je razloga poželjno da površina ispitnog uzorka ima raznoliku teksturu po pitanju intenziteta nijansi sive boje. To kod većine uzoraka nije slučaj, te je neophodna dodatna priprema ispitnog uzorka sa svrhom dobivanja stohastičkog uzorka (rastera) na površini. Raster se najčešće postiže nanošenjem nereflektirajuće mat bijele boje te naknadnim nanošenjem crne boje, kako bi se na površini uzorka dobio raster u obliku crnih točkica na bijeloj podlozi. Gustoća i veličina nanesenih točkica prvenstveno ovisi o veličini mjernog volumena koji se analizira [20].

Aramis je beskontaktni optički 3D mjerni sustav koji se temelji na lokalnom pristupu korelacije digitalne slike. Sustav omogućuje određivanje cijelog polja pomaka i deformacija na mjernom području, čime se dobiva bolji uvid u mehanički odziv materijala na narinuto opterećenje.

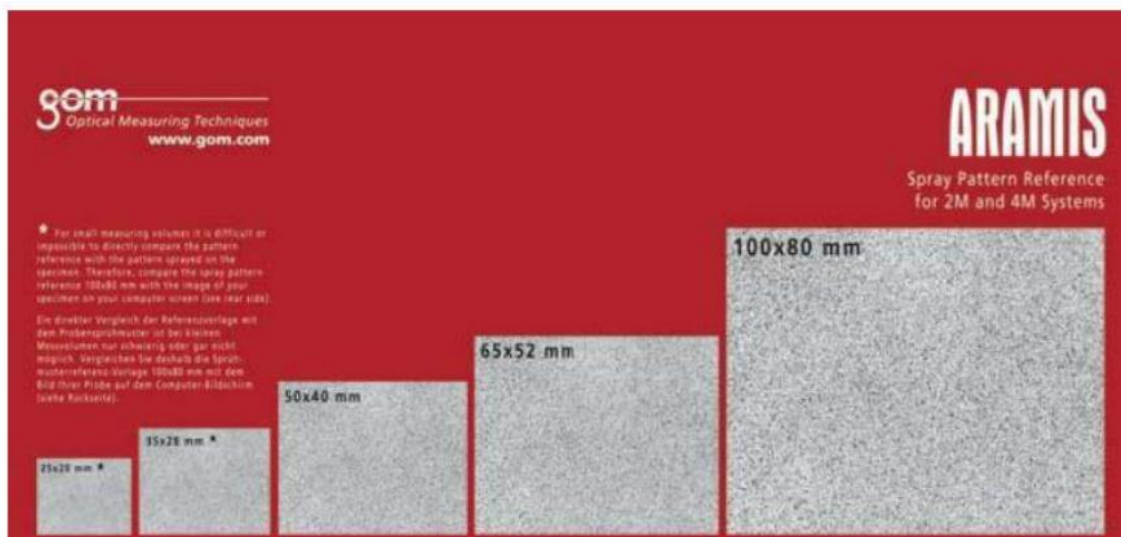


Slika 22 Optički mjerni sustav Aramis [21]

Sustav je prikazan na slici 22, a sastoji se od podešivog stanka, dviju kamera, izvora svjetla i računala za obradu rezultirajućih digitalnih slika. Postupak mjerenja optičkim sustavom *Aramis* sastoji se od: nanošenja stohastičkog uzorka na površinu mjerenog objekta, podešavanja i kalibracije sustava za željeni mjerni volumen, provedbe snimanja te pohrane i obrade digitalnih slika.

3.2.2 Nanošenje stohastičkog uzorka na površinu

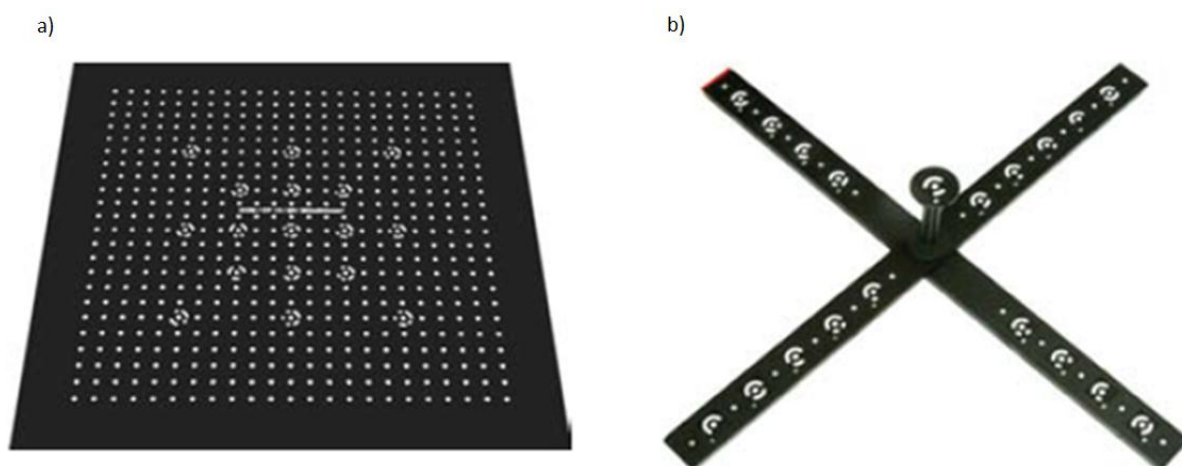
Budući da metoda korelacije digitalne slike zahtijeva što nepravilniju teksturu na površini mjernog objekta, prije mjerenja uzorke je potrebno adekvatno pripremiti – nanijeti stohastički uzorak (raster) prepoznatljiv sustavu. Raster se, kao što je već rečeno, najčešće postiže nanošenjem nereflektirajuće mat bijele boje te naknadnim nanošenjem crne boje kako bi se dobile crne točkice na bijeloj podlozi. Za dobivanje rastera najčešće se koriste klasični sprejevi. Važno je napomenuti da gustoća i veličina nanesenih točkica uglavnom ovise o veličini mjernog volumena. Mali mjerni volumeni zahtijevaju finiji i gušći raster. Primjeri stohastičkih uzoraka za različite mjerne volumene prema preporuci proizvođača prikazani su na slici 23.



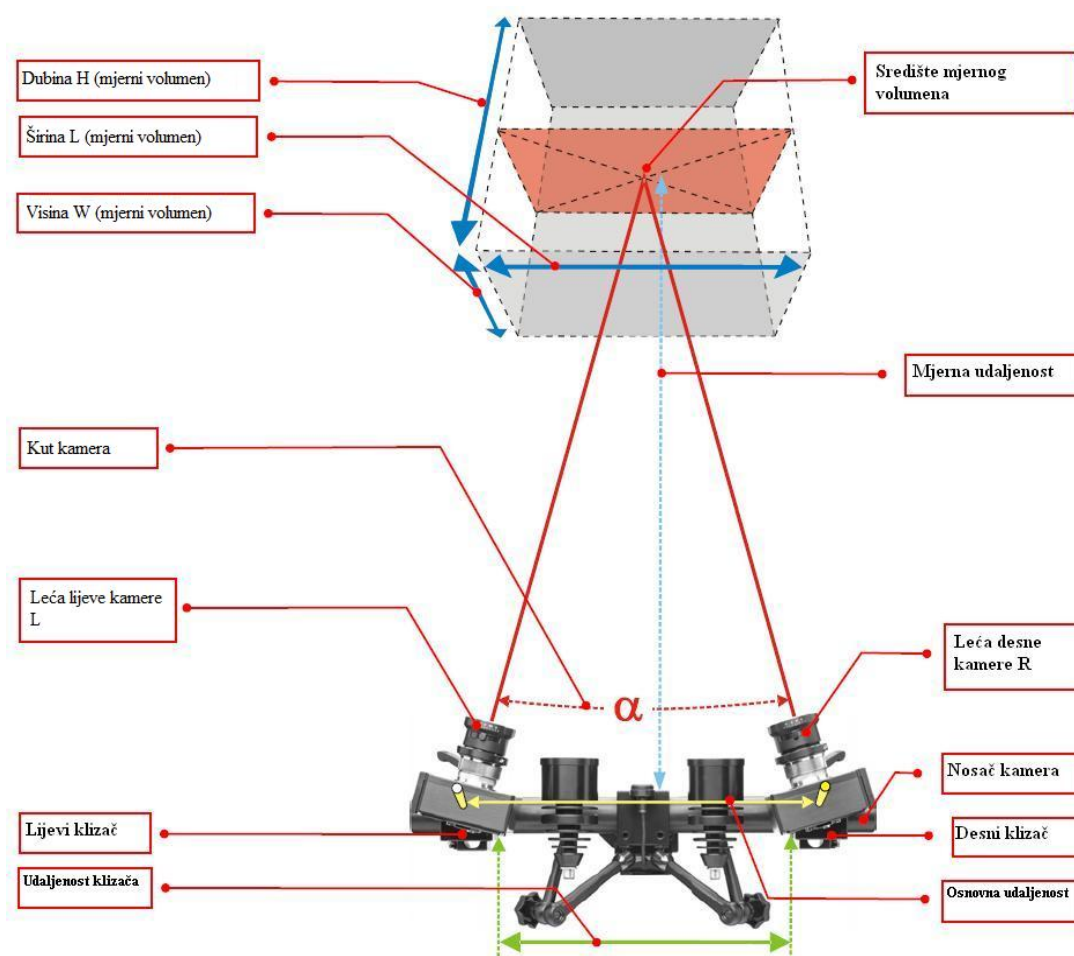
Slika 23 Primjeri stohastičkih uzoraka za različite mjerne volumene [21]

3.2.3 Podešavanje i kalibracija sustava

Prije početka mjerenja potrebno je podesiti optički sustav. Podešavanje sustava podrazumijeva definiranje udaljenosti sustava od mjernog objekta, osvjetljenje objekta i kalibraciju kamere. Kalibracija služi kako bi se podesili vanjski i unutarnji parametri kamere te da bi se poništile sve nepravilnosti u kameri koje mogu biti uzrokovane okolinom. Mjerni sustav *Aramis* kalibrira se pomoću odgovarajućih kalibracijskih objekata: za male volumene koriste se kalibracijske ploče, dok se za veće mjerne volumene koriste kalibracijski štapovi. Na slici 24 prikazani su primjeri kalibracijskih objekata.



Slika 24 Kalibracijski objekti: a) kalibracijska ploča, b) kalibracijski križ [21]



Slika 25 Sustav Aramis s potrebnim parametrima za podešavanje [20]

Pri mjerenju i kalibraciji vrlo je važna mjerna udaljenost, parametri kao što su udaljenost i kut između kamera važni su zbog bolje triangulacije točke u prostoru te se nakon kalibracije ne smiju mijenjati. Slika 25 prikazuje dijelove sustava i parametre koji se podešavaju tijekom kalibracije.

U slučaju loše postavljenih kamera, promjena udaljenosti i kuta između kamera, odabira pogrešnog kalibracijskog objekta ili pogrešno provedenog procesa kalibracije dolazi do dekalibracije sustava što rezultira velikim odstupanjima u rezultatima mjerenja. Algoritam radi tako da se iz 2D koordinata referentne točke svake kamere triangulacijom izračunaju prostorne koordinate. Nakon toga, prostorne se koordinate preračunaju ponovno u 2D koordinate i uspoređuju se s prvobitnim položajem, što se naziva odstupanjem referentnih točaka. Kada se tako obuhvate sve točke snimljene pri kalibraciji i izračuna njihovo prosječno odstupanje, dobiva se greška kalibracije. Sustav jednadžbi triangulacije sustav je koji je predefiniран i preko njega se dobiva skup rješenja na osnovu čije standardne devijacije se procjenjuje je li sustav ispravno kalibriran. Za ispravnu kalibraciju očekivana pogreška kalibracije može iznositi od 0,01 do 0,04 piksela. Kada se sustav jednom kalibrira za određeni

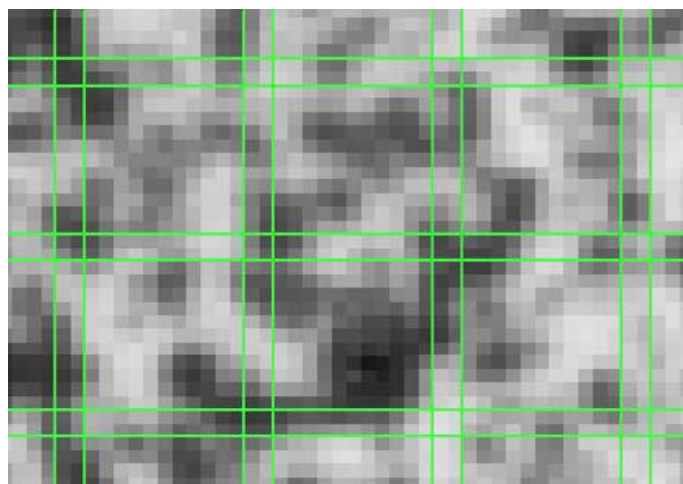
mjerni volumen, podaci o kalibraciji pohranjuju se u memoriju te kalibraciju nije potrebno više ponavljati ukoliko nema potrebe za povećanjem ili smanjenjem mjernog volumena [20].

3.2.4 *Snimanje uzoraka*

Kad je sustav kalibriran znači da je definirana veličina piksela, odnosno definirano je koliko piksela odgovara jednom milimetru. Nakon kalibracije sustav je spreman za mjerenje te se pozicionira ispred mjernog objekta na odgovarajuću udaljenost i, ako je potrebno, dodatno se podešavaju izvori svjetla kako bi se dobila oštra slika bez neželjenih refleksija. Neposredno prije snimanja potrebno je podesiti parametre kamere, a to prvenstveno podrazumijeva brzinu snimanja slika i vrijeme ekspozicije. Oba parametra ovise o tehničkim specifikacijama kamere, ali direktno ovise i o količini svjetla na mjernom objektu.

3.2.5 *Pohrana i obrada digitalnih slika*

Nakon snimanja rezultirajuće digitalne slike pohranjuju se u memoriju sustava. Budući da se algoritam sustava temelji na lokalnom pristupu metode korelacije digitalne slike, digitalne slike se diskretiziraju fasetama. Veličina fasete i korak definiraju se softverski pri obradi digitalnih slika.



Slika 26 Faseta veličine 15x15, s 2 preklapajuća piksela [22]

Slika 26 prikazuje primjer fasete veličine 15x15 piksela s korakom od 13 piksela, odnosno s 2 piksela preklapanja. Kako je već spomenuto, fasete se identificiraju i prate pomoću stupnja intenziteta nijansi sive boje kroz različite korake opterećenja. Veličina fasete izravno utječe na mjernu nesigurnost mjerenja pomaka i deformacija. Povećanjem fasete smanjuje se mjerna nesigurnost, no izračun postaje računalno zahtjevniji. U takvom slučaju nemoguće je odrediti pomake i deformacije u zonama manjima od veličine fasete. Smanjenje veličine fasete eliminira navedene nedostatke, no uzrokuje povećanje mjerne nesigurnosti.

Povećanjem koraka fasete smanjuje se gustoća mjernih točaka što rezultira kraćim trajanjem izračuna pomaka i deformacija. S druge strane, smanjenjem koraka povećava se gustoća mjernih točaka čime izračun postaje zahtjevniji. Općenito na mjernu nesigurnost utječe nekoliko čimbenika: karakteristike rastera (veličina i ravnomjerna raspodjela crno-bijelih točkica), parametri analize (kriteriji korelacije, funkcije oblika implementirane u algoritam, veličina i korak fasete), parametri kamere (rezolucija, šum, optička distorzija) i utjecaj okoline (temperatura, vibracije stalka, osvjetljenje).

Mjerni sustav *Aramis* može mjeriti male i velike objekte (veličine od 1 mm do 2000 mm) s istim senzorom, a deformacije koje se mogu mjeriti u rasponu su od 0,01% do 100 %. Kao rezultat mjerenja dobiva se cijelo polje pomaka i deformacija te je u tom smislu *Aramis* iznimno moćan alat za validaciju numeričkih proračuna.

Uzorci prikazani na slici 19 za određivanje vlačne čvrstoće rane pripremljeni za mjerenje optičkim sustavom *Aramis* na način opisan u ovom poglavlju prikazani su na slici 27.



Slika 27 Uzorci pripremljeni za mjerenje optičkim sustavom *Aramis*

3.3. Eksperimentalno ispitivanje

3.3.1 Određivanje maksimalnoga intravezikalnog tlaka

Nakon zatvaranja reza cistotomije u sve uzorke, neovisno o tehnici zatvaranja, kroz vrat mjehura postavljena su dva katetera, a oko vrata mjehura postavljena je ligatura. Jedan kateter spojen je s komoricom manometra pomoću koje se prati tlak unutar uzorka, a drugi kateter služi za punjenje mjehura tekućinom. Uzorak pripremljen za ispitivanje prikazan je na slici 28.



Slika 28 Uzorak pripremljen za ispitivanje

Mjehur se puni vodom s dodatkom tinte kako bi se što preciznije mogao odrediti trenutak u kojemu dolazi do propuštanja šava. Tlak se cijelo vrijeme prati na zaslonu komorice manometra (Slika 29). U trenutku kada iz rane počne curiti tekućina, očitava se tlak na manometru i taj se tlak smatra maksimalnim intravezikalnim tlakom. Sve skupine uzoraka ispitivane su na jednak način.



Slika 29 Postav za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka

Kod većine uzoraka je do propuštanja tekućine došlo na mjestima uboda kao što je prikazano na slici 30. Na malom broja uzoraka (4 uzorka) kritično je mjesto bilo između dvaju uboda kao što se vidi na slici 31.



Slika 30 Uzorak u trenutku propuštanja – propuštanje na ubodima



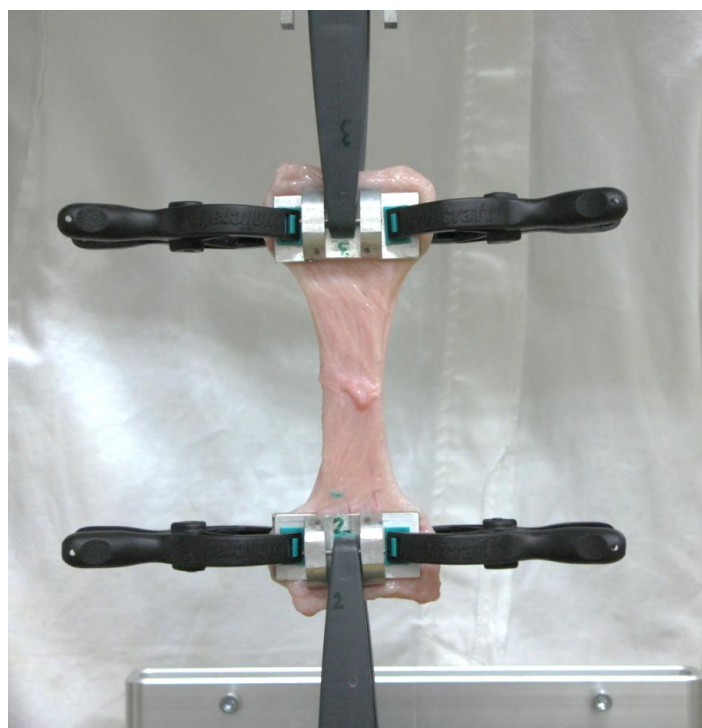
Slika 31 Uzorak u trenutku propuštanja – propuštanje između uboda

3.3.2 Statičko vlačno ispitivanje

Nakon pripreme uzoraka za statičko vlačno ispitivanje opisane u poglavlju 3.1.2, uzorci su ispitani u Laboratoriju za eksperimentalnu mehaniku Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Za ispitivanje korištena je kidalica Beta 50-5 (Messphysik, Austrija) (Slika 32). Kidalica je pogonjena elektromotorom i postiže maksimalnu silu od 50 kN. Tijekom ispitivanja kidalicom se upravlja s upravljačkom jedinicom EDC25 (Doli Elektronik GmbH, Njemačka). Tijekom ispitivanja mekih tkiva najveći je problem prihvat uzorka u čeljusti kidalice. Ako je površina prihvata glatka ili nedovoljno narovašena može doći do izvlačenja uzorka iz čeljusti. Poželjno je da prihvat bude hrapava, po mogućnosti nazubljena površina kako se uzorak ne bi izvlačio. Također, poželjno je i da prihvat može kompenzirati smanjenje debljine tkiva do kojeg dolazi tijekom rastezanja, odnosno da osigurava konstantnu silu prihvata tijekom cijelog ispitivanja. Uzorci su pričvršćeni na kidalicu pomoću posebnog prihvata za meka tkiva (Slika 33) koji tijekom provedbe ispitivanja osigurava konstantnu silu prihvata. Ispitivanja su provedena kvazi-statičkim opterećenjem brzinom od 10 mm/min koja je uobičajena u literaturi [13,14] kada je riječ o sličnim ispitivanjima uzoraka mekog biološkog tkiva. Opterećivanje uzoraka se vrši tako što je donja čeljust nepomična, a gornja se giba zadanom brzinom vertikalno prema gore. Svi uzorci su ispitivani do pucanja. Tijekom cijelog ispitivanja bilježi se sila i vertikalni pomak kidalice.

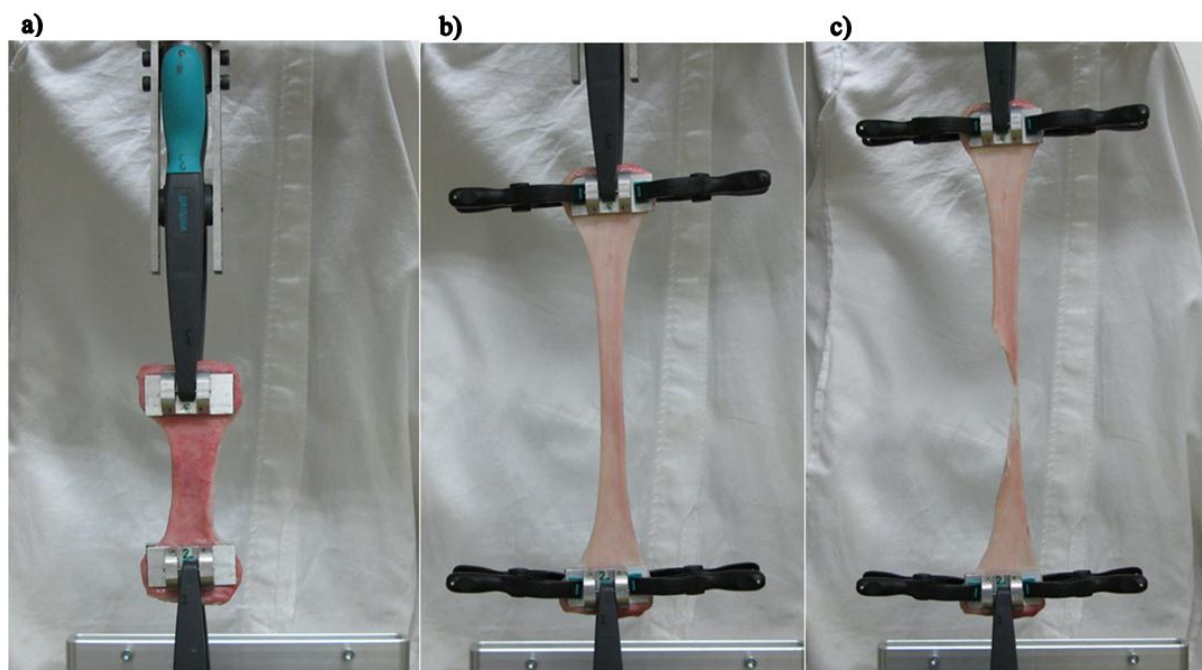


Slika 32 Statička kidalica Messphysik Beta 50-5



Slika 33 Uzorak pozicioniran u prihvatu kidalice

Uzorci iz mekih tkiva u pravilu imaju jako veliku istezljivost što je i vidljivo pri ispitivanju intaktnog uzorka iz skupine za određivanje utjecaja tehnike zatvaranja na vlačnu čvrstoću rane (Slika 34).



Slika 34 Vlačno ispitivanje uzoraka do pucanja: a) uzorak pozicioniran u prihvatu, b) uzorak tijekom opterećivanja i c) uzorak neposredno prije pucanja

Izrezivanjem uzoraka u oblik klasičnih epruveta za statičko vlačno ispitivanje sprječava se pucanje uzorka u prihvatu ili u neposrednoj blizini prihvata što rezultate ispitivanja čini nepouzdanima. Svi ispitani uzorci pukli su kao što je to vidljivo i na slici 33 u području vrata, kao što je i očekivano.

3.3.3 Mjerenje optičkim sustavom Aramis

Zbog velike istezljivosti uzoraka (za neke uzorake više od 1000%) optički sustav *Aramis* nije korišten za mjerenje polja pomaka kod uzoraka za određivanje mehaničkih svojstava u poprečnom i uzdužnom smjeru mjehura, kao niti kod intaktnih uzoraka za određivanje vlačne čvrstoće. Drugi razlog zbog kojeg sustav *Aramis* nije korišten kod spomenutih uzoraka je taj što je cilj mjerenjem cijelog polja pomaka bio da se dobije bolji uvid u način popuštanja šava što ovi uzorci nisu imali. Sustav je korišten samo za ispitivanja vlačnih uzoraka spojenih standardnim šavom, staplerom i V-Loc koncem.

Mjerenja optičkim sustavom provedena su sljedećim parametrima:

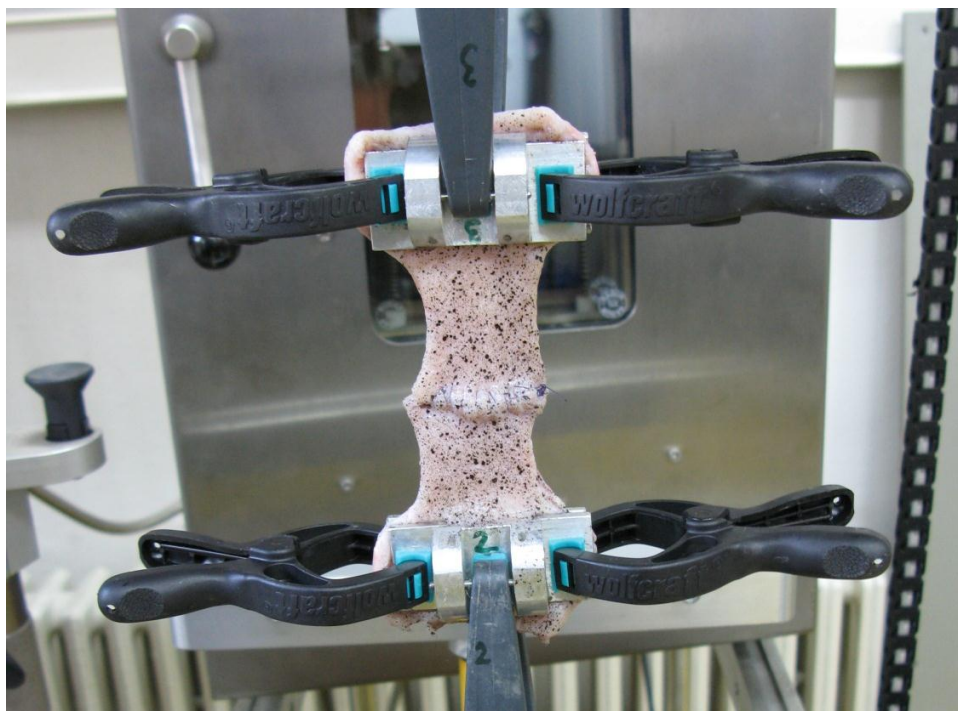
- objektiv: 50 mm,
- mjerni volumen: 125x90 mm
- mjerna udaljenost: 475 mm,
- međusobna udaljenost kamera: 184 mm,
- kut kamera: 25°,

- frekvencija slikanja: 0,25 Hz.

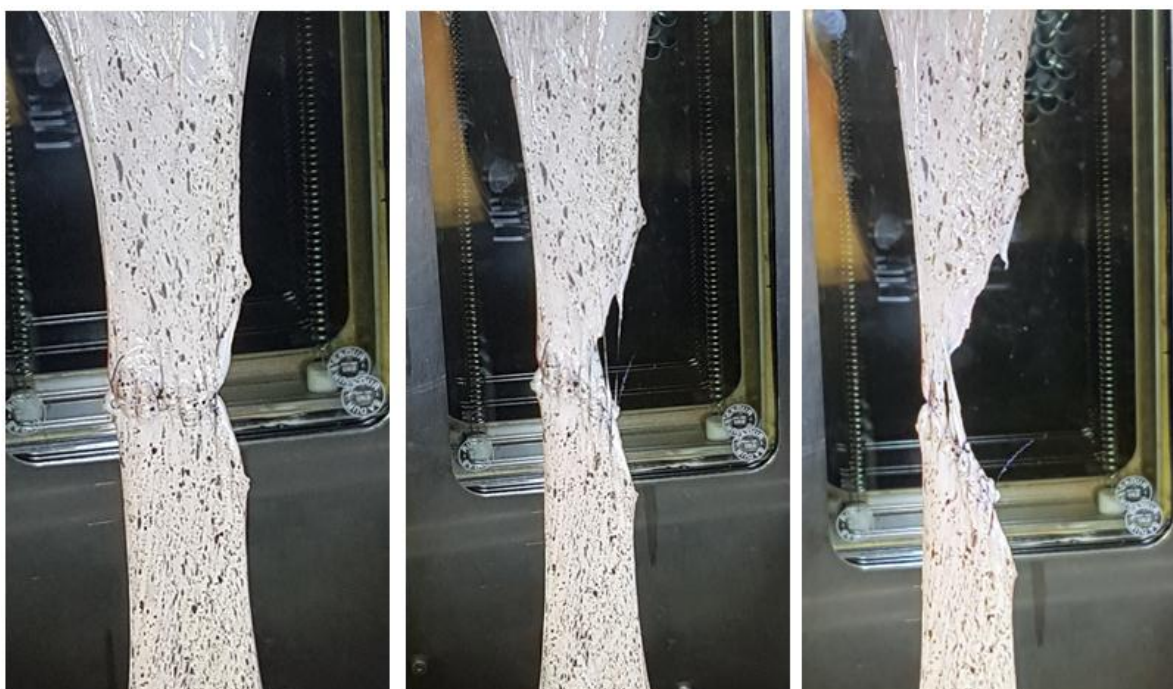


Slika 35 Eksperimentalni postav kod ispitivanja vlačne čvrstoće rane

Eksperimentalni postav pri ispitivanju vlačne čvrstoće rane prikazan je na slici 35. Kao što je već prije navedeno, tijekom mjerenja uzorci su slikani svake četvrte sekunde što je približno iznosilo 200 slika po uzorku. Na slici 36 prikazan je uzorak sa stohastičkim rasterom u prihvatu kidalice. Način popuštanja uzoraka prikazan je na slici 37 na primjeru uzorka s ranom cistotomije zatvorenom koncem s postranim kukicama. Kod svih ispitanih uzoraka popustilo je tkivo mjehura iznad ili ispod rane i niti kod jednog uzorka nije došlo do izvlačenja ili popuštanja materijala za spajanje.



Slika 36 Uzorak učvršćen u prihvat kralice



Slika 37 Ispitivanje vlačne čvrstoće rane s popuštanjem uzorka iznad rane

3.4. Statistička analiza

Kako bi se ustanovilo postoje li razlike između pojedinih grupa uzoraka, dobiveni rezultati statistički su analizirani. Statistička obrada podataka obavljena je programom *R*. Za testiranje normalnosti podataka korišten je Lillieforsov test (inačica Kolmogorov-

Smirnovljeva testa). Nulta hipoteza tog testa je da podaci dolaze iz normalno distribuirane populacije. Za razliku od Kolmogorov-Smirnovljeva testa Lillieforsov test ne zahtjeva specifikiranje iz “koje” normalne distribucije potječu podaci, tj. ne zahtjeva specificiranje aritmetičke sredine i varijance populacije, što je i glavni razlog zašto je odabrana baš ta inačica. Normalno distribuirani podaci su testirani ANOVA-om ili t-testom uz razinu značajnosti od 5%, a kako se ANOVA dobro ponaša i s kontinuiranim varijablama koje nisu normalno distribuirane korištena je i u slučaju kada podaci nisu normalno distribuirani, ali su dovoljno veliki. U slučaju kada je bilo potrebno odrediti koje se skupine uzoraka razlikuju korišten je Tukeyjev HSD test.

4. REZULTATI

4.1. Rezultati ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka

Tijekom ispitivanja maksimalnoga intravezikalnog tlaka bilježeni su podaci o duljini uzorka i to od vrha do vrata mokraćnog mjehura, vrijeme potrebno za šivanje reza cistotomije i maksimalni intravezikalni tlak, odnosno tlak kod kojeg je došlo do propuštanja tekućine kroz ranu. Kao što je već spomenuto, uzorci su ovisno o tehnici šivanja podijeljeni u 3 skupine, a svaka od skupina sadrži 15 uzoraka. Rezultati mjerenja intravezikalnog tlaka prikazani su u tablicama od 1 do 3.

Tablica 1 Intravezikalni tlak u uzorcima sa standardnim šavom

<i>Br. uzorka</i>	<i>Duljina l, mm</i>	<i>Vrijeme šivanja t, min</i>	<i>p_{max}, mmHg</i>
1	130	8,00	22
2	110	6,00	26
3	110	8,00	19
4	115	8,00	17
5	115	6,49	17
6	120	6,47	16
7	110	6,51	14
8	115	7,10	19
9	95	5,30	20
10	120	7,12	17
11	100	6,35	18
12	100	6,53	18
13	100	7,01	12
14	110	5,45	14
15	110	6,06	12
<i>Srednja vrijednost</i>	110,6	6,69	17,4

Tablica 2 Intravezikalni tlak u uzorcima sa staplicama

Br. uzorka	Duljina l , mm	Vrijeme šivanja t , min	p_{\max} , mmHg
1	110	1,00	11
2	110	2,20	12
3	100	1,30	8
4	95	1,27	8
5	115	1,25	11
6	100	1,30	11
7	105	1,30	9
8	115	0,55	7
9	95	1,16	10
10	90	0,45	12
11	90	0,58	12
12	85	1,07	20
13	105	1,13	12
14	115	1,26	11
15	90	1,17	10
<i>Srednja vrijednost</i>	101,3	1,13	10,9

Tablica 3 Intravezikalni tlak u uzorcima s V-Loc koncem

Br. uzorka	Duljina l , mm	Vrijeme šivanja t , min	p_{\max} , mmHg
1	125	5,42	10
2	110	5,31	8
3	105	7,10	8
4	125	6,40	11
5	110	7,15	8
6	110	5,21	8
7	115	7,06	8
8	115	6,50	7
9	105	7,00	9
10	105	7,08	8
11	115	7,00	8
12	115	6,50	13
13	125	6,02	9
14	100	5,43	10
15	105	5,53	6
<i>Srednja vrijednost</i>	112,3	6,31	8,7

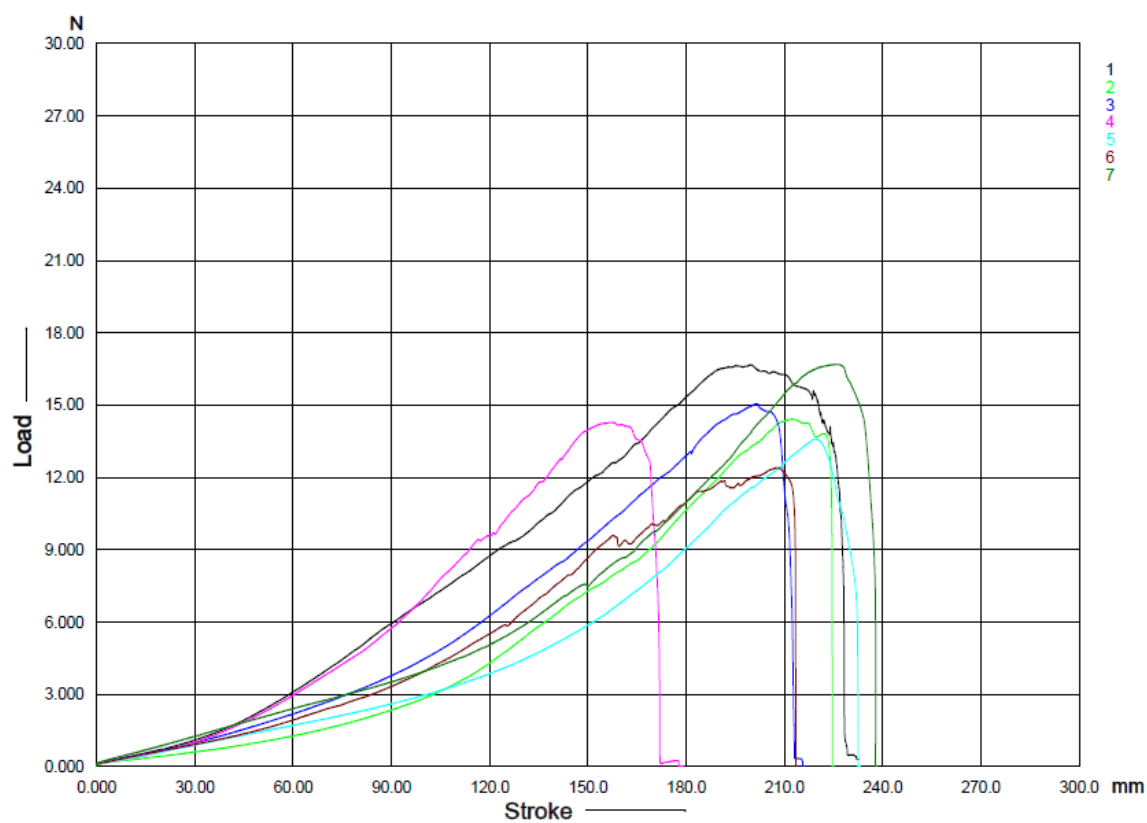
Kako je jedan od ciljeva istraživanja pokazati postoji li razlika u maksimalnom intravezikalnom tlaku i vremenu šivanja između pojedinih skupina uzoraka, dobiveni rezultati

statistički su analizirani. Rezultati ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka testirani su pomoću ANOVA-e. Provedena statistička analiza pokazuje da postoji statistički značajna razlika među skupinama ($p=8,52 \times 10^{-10}$). Zbog toga je proveden i Tukeyjev HSD test kako bi se pokazalo koji se načini zatvaranja reza cistotomije razlikuju (u parovima). Rezultati ovog testa pokazuju da ne postoji razlika između maksimalnog intravezikalnog tlaka postignutog kod uzoraka zatvorenih koncem s postranim kukicama i staplera (interval pouzdanosti sadrži nulu), a značajna razlika postoji između uzoraka zatvorenih standardnom tehnikom i staplerom te između V-Loc šava i standardne tehnike. Analizom vremena potrebnog za zatvaranje reza cistotomije t-testom uz razinu značajnosti 5% utvrđeno je da ne postoji statistička razlika između skupine uzoraka zatvorenih standardnim šavom i V-Loc koncem ($p=0,2090$).

4.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja tkiva mjehura

Uzorci za jednoosno statičko vlačno ispitivanje tkiva svinjskog mjehura podijeljeni su u dvije skupine, a svaka sadržava sedam uzoraka. Obje skupine ispitane su kako je opisano u poglavlju 3.3.2. Prije ispitivanja, izmjerena je i zabilježena duljina i debljina svakog uzorka, a vrijednosti su prikazane u tablicama 4 i 5. Sila i pomak vertikalne osi kidalice bilježeni su tijekom cijelog ispitivanja, a grafički prikaz ovisnosti sile i pomaka za sve uzorke dan je dijagramom. Vrijednost maksimalne sile (F_{\max}), odnosno sile pri kojoj uzorak puca, prikazana je u tablicama zajedno s duljinom i debljinom uzoraka.

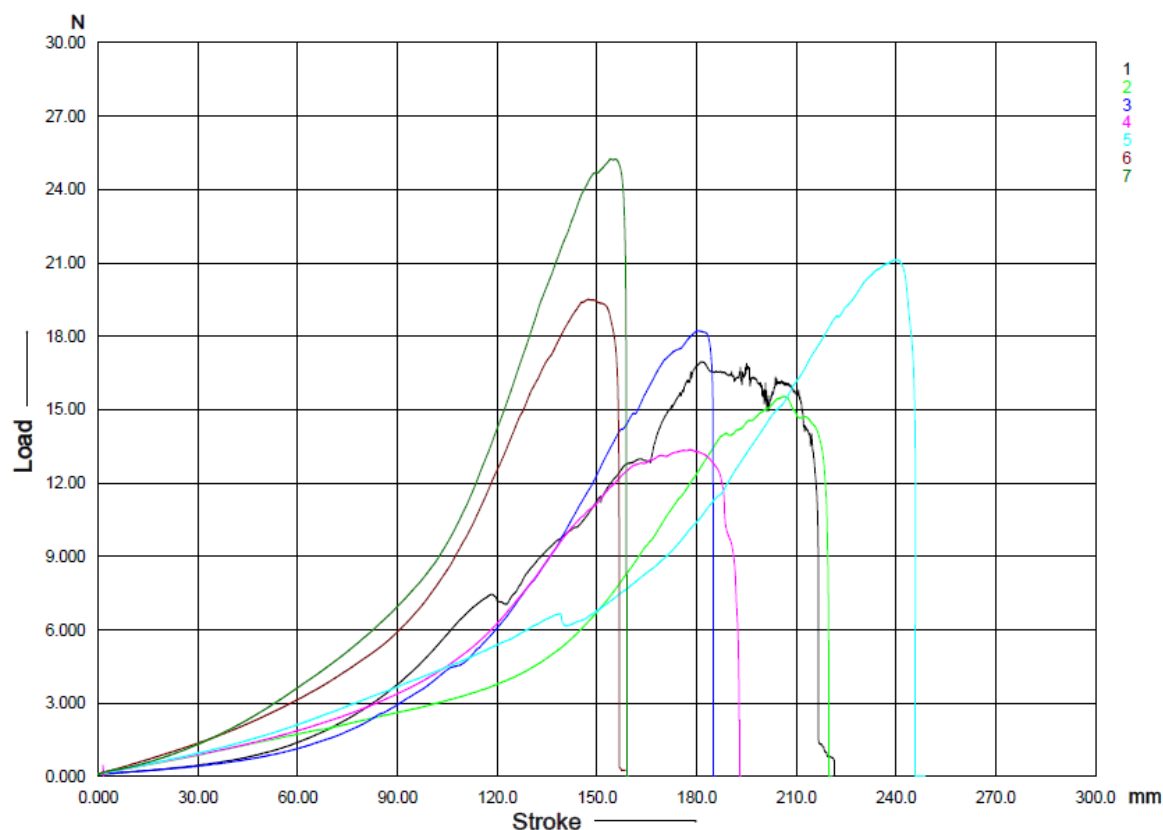
Uzorci su jednakih dimenzija 60x9 mm, prema slici 14. Prva skupina uzoraka ekscidirana je u poprečnom smjeru mokraćnog mjehura, dok je druga skupina ekscidirana u uzdužnom smjeru. Budući da su uzorci iz ovih dviju skupina jednakih dimenzija, a razlikuju se ovisno o mjestu uzimanja iz tkiva svinjskog mjehura, pomoću dobivenih rezultata analizirano je anizotropno ponašanje mokraćnog mjehura. Odnosno, ispitano je postoji li razlika u svojstvima tkiva mokraćnog mjehura, ovisno o mjestu uzimanja uzoraka. Dijagram na slici 38 prikazuje rezultate jednoosnog statičkog vlačnog ispitivanja poprečnih uzoraka, a u dijagramu na slici 39 prikazani rezultati istog ispitivanja uzdužnih uzoraka.



Slika 38 Dijagram sila-pomak za poprečne uzorke

Tablica 4 Rezultati ispitivanja poprečnih uzoraka

Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	90	6,36	16,68
2	85	6,02	14,43
3	90	5,94	15,06
4	90	6,26	14,29
5	85	6,00	13,60
6	85	5,90	12,41
7	85	7,13	16,69
Srednja vrijednost	87	6,23	14,73



Slika 39 Dijagram sila-pomak za uzdužne uzorke

Tablica 5 Rezultati ispitivanja uzdužnih uzoraka

Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	105	4,62	16,96
2	110	4,08	15,56
3	105	4,59	18,23
4	95	3,78	13,37
5	100	5,35	21,13
6	95	3,44	19,52
7	100	4,80	25,25
<i>Srednja vrijednost</i>	101	4,38	18,57

Na dijagramima je vidljivo da su rezultati ispitivanja poprečnih uzoraka ujednačeni, što kod uzoraka u uzdužnom smjeru nije slučaj. Iz tablica 4 i 5 jasno je da srednja vrijednost sile kod koje dolazi do pucanja poprečnih uzoraka iznosi $F_{\max}=14,73$ N, a kod uzdužnih uzoraka sila je iznosila $F_{\max}=18,57$ N. Statističkom analizom Lillieforsovim testom utvrđeno je da su podaci obiju grupa normalno distribuirani, a kako je broj uzoraka u skupini malen, za analizu je korišten t-test. Uz razinu značajnosti od 5%, dobiveno je da postoji statistički značajna razlika u vrijednostima maksimalne sile kod ove dvije skupine uzoraka ($p=0,04225$). Budući

da je iz prethodnih tablica vidljivo da se debljina uzoraka razlikuje kod ove dvije skupine, također je ispitano postoji li povezanost između debljine mjehura i sile pri kojoj dolazi do pucanja. Ovdje je korišten korelacijski test, a rezultati pokazuju da na silu pri kojoj dolazi do pucanja uzoraka ne utječe debljina mjehura.

Kako bi se razlike između ovih dviju skupina uzoraka mogle što preciznije utvrditi, potrebno je prethodne dijagrame sila-pomak pretvoriti u dijagrame naprezanje-deformacija. Naprezanje je dobiveno dijeljenjem sile s početnom površinom poprečnog presjeka uzorka S_0

$$\sigma = \frac{F}{S_0}, \quad (1)$$

$$S_0 = h \cdot b, \quad (2)$$

gdje je h debljinu, a b širina uzorka. Širina je zbog korištenja noža – kalupa jednaka kod svih uzoraka i iznosi 9 mm. Debljina je mjerena na već opisan način, a vrijednosti debljine za svaki uzorak nalaze se u tablicama 4 i 5. Deformacija ε je izračunata tako da je produljenje ΔL podijeljeno s početnom duljinom uzorka L_0

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}. \quad (3)$$

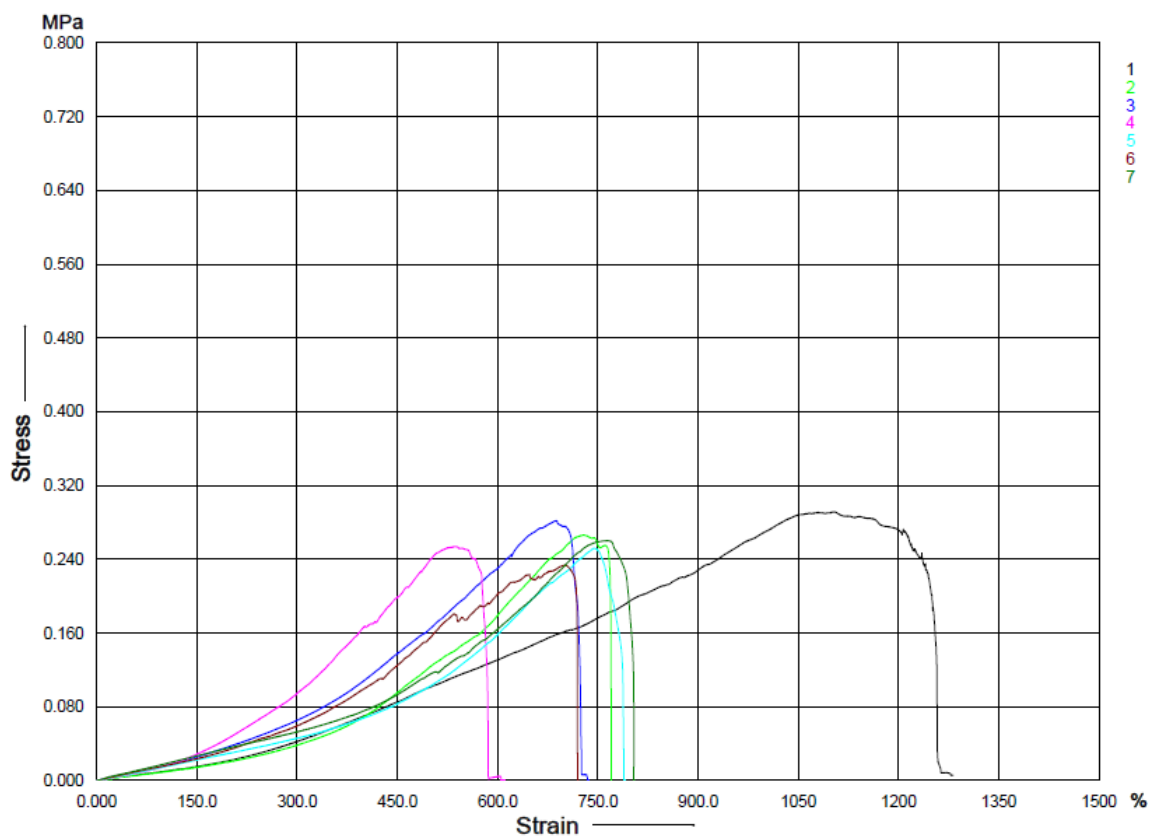
Početna duljina L_0 zbog korištenja noža-kalupa ista je kod svih uzoraka i iznosi 60 mm, a produljenje je jednako pomaku gornje čeljusti kidalice. Modul elastičnosti predstavlja mjeru krutosti materijala. Za linearan dio dijagrama naprezanje-deformacija definiran je kao nagib tangente na krivulju jer u tom području vrijedi Hooke-ov zakon

$$\sigma = E \cdot \varepsilon. \quad (4)$$

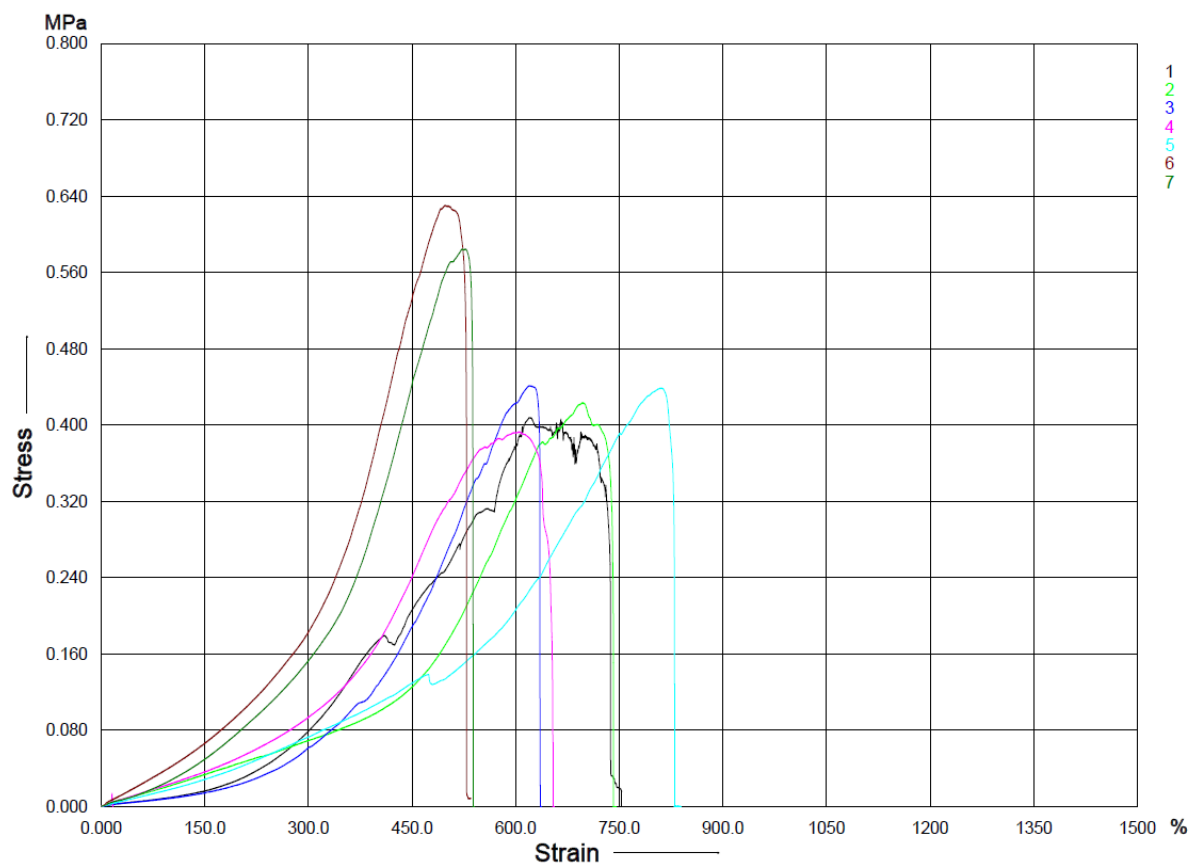
Za svaki uzorak izračunata je vrijednost modula elastičnosti na dva približno linearna dijela, prema slici 2 modul elastičnosti određen je u prvom i trećem dijelu dijagrama i zbog toga su vrijednosti označene s E_1 i E_3 . Srednje vrijednosti modula elastičnosti E_1 i E_3 za poprečne i uzdužne uzorke dane su u tablici 6, a dijagrami naprezanje – deformacija prikazani su slikama 40 i 41.

Tablica 6 Srednje vrijednosti modula elastičnosti poprečnih i uzdužnih uzoraka

	E_1 , MPa	E_3 , MPa
<i>Poprečni uzorci</i>	0,0134	0,0571
<i>Uzdužni uzorci</i>	0,0201	0,1819



Slika 40 Dijagram naprezanje – deformacija za poprečne uzorke



Slika 41 Dijagram naprezanje – deformacija za uzdužne uzorke

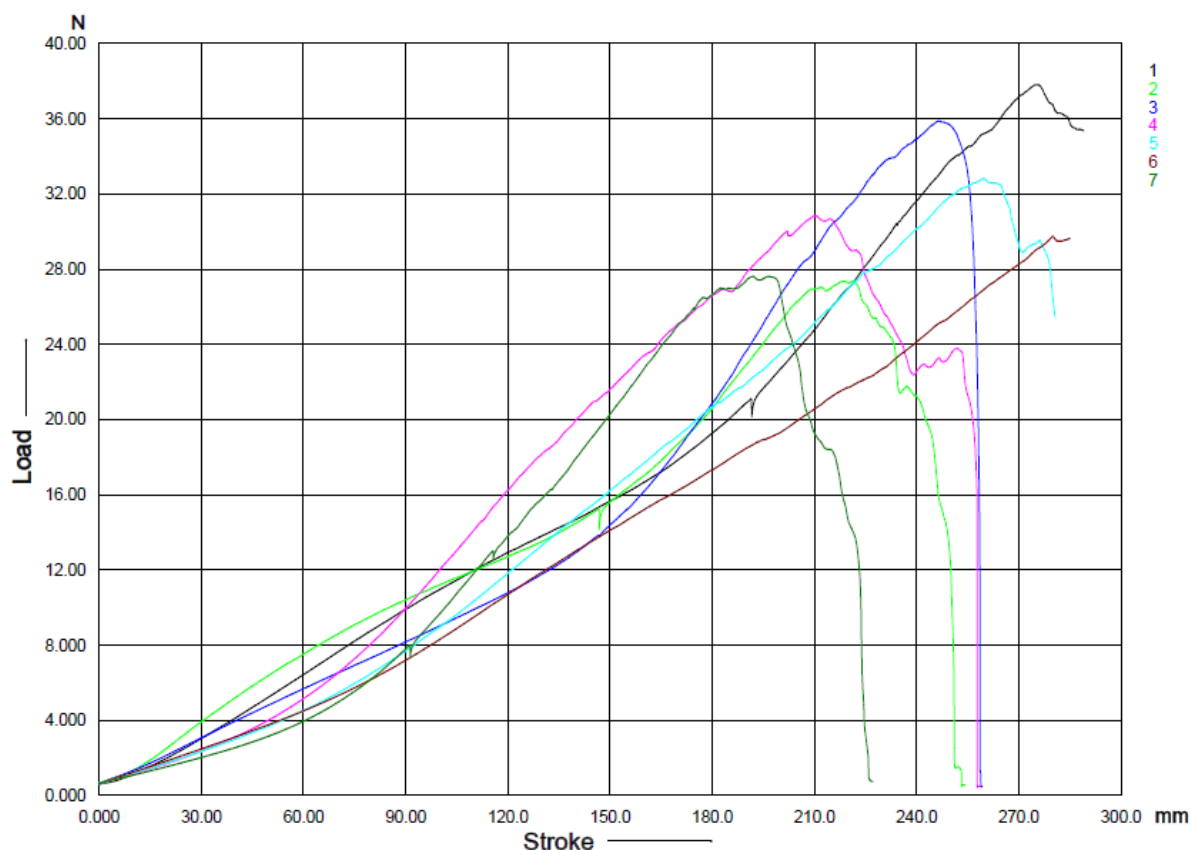
Dobivene vrijednosti modula elastičnosti u prvom i trećem dijelu dijagrama statistički su analizirane. Za testiranje razlike kod vrijednosti E_1 korišten je Mann-Withneyev U test. Rezultati korištenog testa pokazuju da uz razinu značajnosti od 5% ne postoji značajna razlika u vrijednosti modula elastičnosti u prvom dijelu dijagrama (E_1) između uzdužnih i poprečnih uzoraka ($p=0,07284$). Budući da su vrijednosti modula elastičnosti u trećem dijelu dijagrama (E_3) normalno distribuirane, za testiranje razlike između uzdužnih i poprečnih uzoraka korišten je t-test koji pokazuje da uz razinu značajnosti od 5% postoji statistički značajna razlika u vrijednostima modula elastičnosti između uzoraka dobivenih iz uzdužnog i poprečnog smjera ($p=0,003516$). Provedena analiza ukazuje da se tkivo mokraćnog mjehura u početnom dijelu ponaša izotropno – ne postoji razlika u vrijednostima modula elastičnosti ovisno o mjestu uzimanja uzoraka, dok se kod većih deformacija tkivo ponaša anizotropno. Odnosno s porastom postotka deformacije vrijednosti modula elastičnosti značajno se razlikuju kod uzoraka dobivenih iz uzdužnog i poprečnog smjera svinjskog mokraćnog mjehura.

4.3. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja čvrstoće rane

Treća skupina uzoraka je dimenzija 70x30 mm prema slici 16, a uzorci su ekscidirani u poprečnom smjeru mjehura. U dijagramu na slici 42 prikaz je ovisnosti sile i pomaka kontrolne skupine uzoraka (intaktni uzorci). U tablici 7 dane su vrijednosti duljine, debljine i maksimalne sile svakog uzorka. Ova skupina uzoraka koristit će se za usporedbu s uzorcima kod kojih je ispitivana čvrstoća rane ovisno o tehnici šivanja.

Tablica 7 Rezultati ispitivanja kontrolne skupine uzoraka

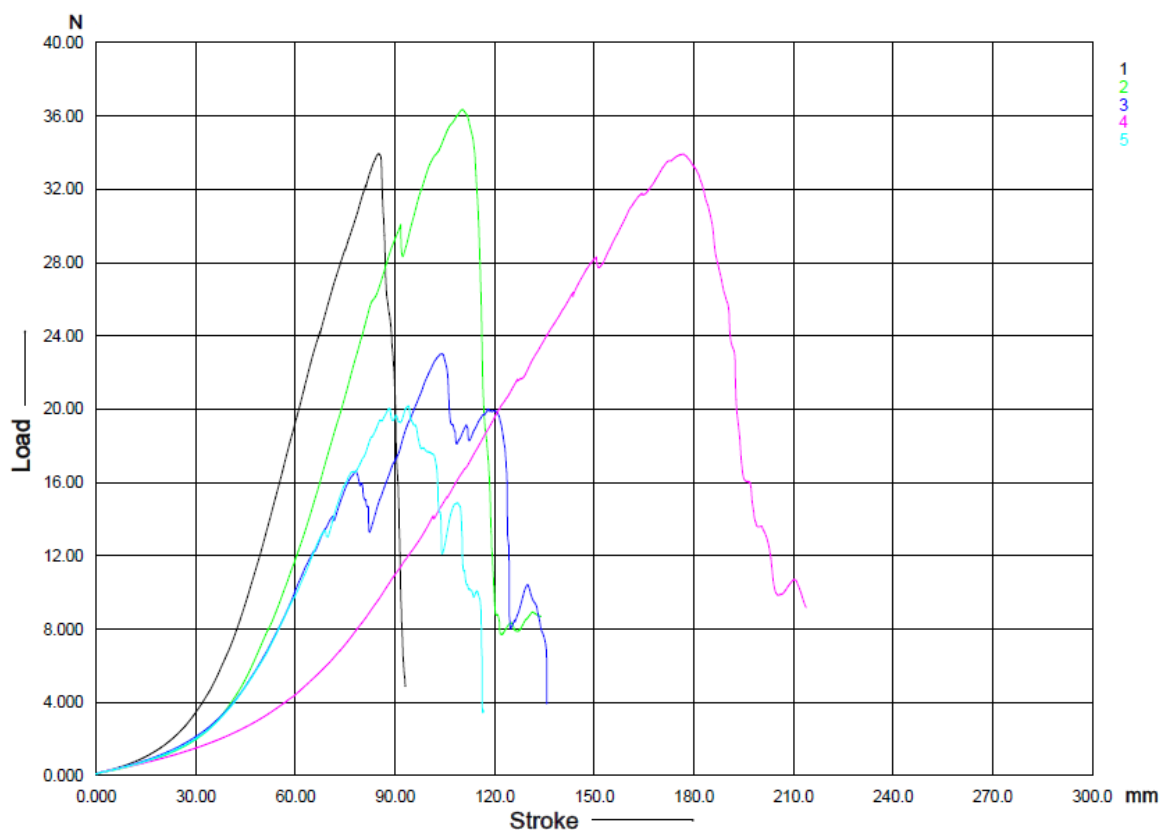
<i>Br. uzorka</i>	<i>Duljina l, mm</i>	<i>Debljina h, mm</i>	<i>F_{max}, N</i>
1	115	3,68	37,82
2	100	6,14	27,37
3	100	4,63	35,89
4	105	5,55	30,83
5	115	6,84	32,82
6	105	6,18	29,76
7	110	4,90	27,62
<i>Srednja vrijednost</i>	107	5,41	31,73



Slika 42 Dijagram sila-pomak kontrolne skupine uzoraka

Kako bi se ustanovilo jesu li alternativne tehnike za zatvaranje reza cistotomije dobre i mogu li se koristiti, osim ispitivanja maksimalnoga intravezikalnog tlaka, provedeno je i jednoosno statičko vlačno ispitivanje cistotomske rane. Rezultati su podijeljeni u tri skupine, ovisno o načinu zatvaranja rane cistotomije: standardnim načinom – koristeći monofilamentni konac, staplerima i koristeći konac s postranim kukicama (V-Loc). Svaka skupina sadržava 5 uzoraka.

Dijagram na slici 43 prikazuje krivulje sila – pomak za 5 uzoraka na kojima je rez cistotomije zatvoren na standardni način – produžnim šavom s čvoranjem na početku i na kraju šava, a kao materijal korišten je monofilamentni resorbirajući konac. Iz dijagrama je vidljivo da su rezultati veoma neujednačeni. Razlog tome može biti velik broj utjecajnih parametara prisutnih pri šivanju ovom tehnikom. Iz tablice 8 vidljiva je prosječna vrijednost maksimalne sile koja iznosi $F_{\max}=29,48$ N, što nije značajno manje od prosječne vrijednosti kontrolne skupine uzoraka – intaktnih uzoraka (Tablica 7).

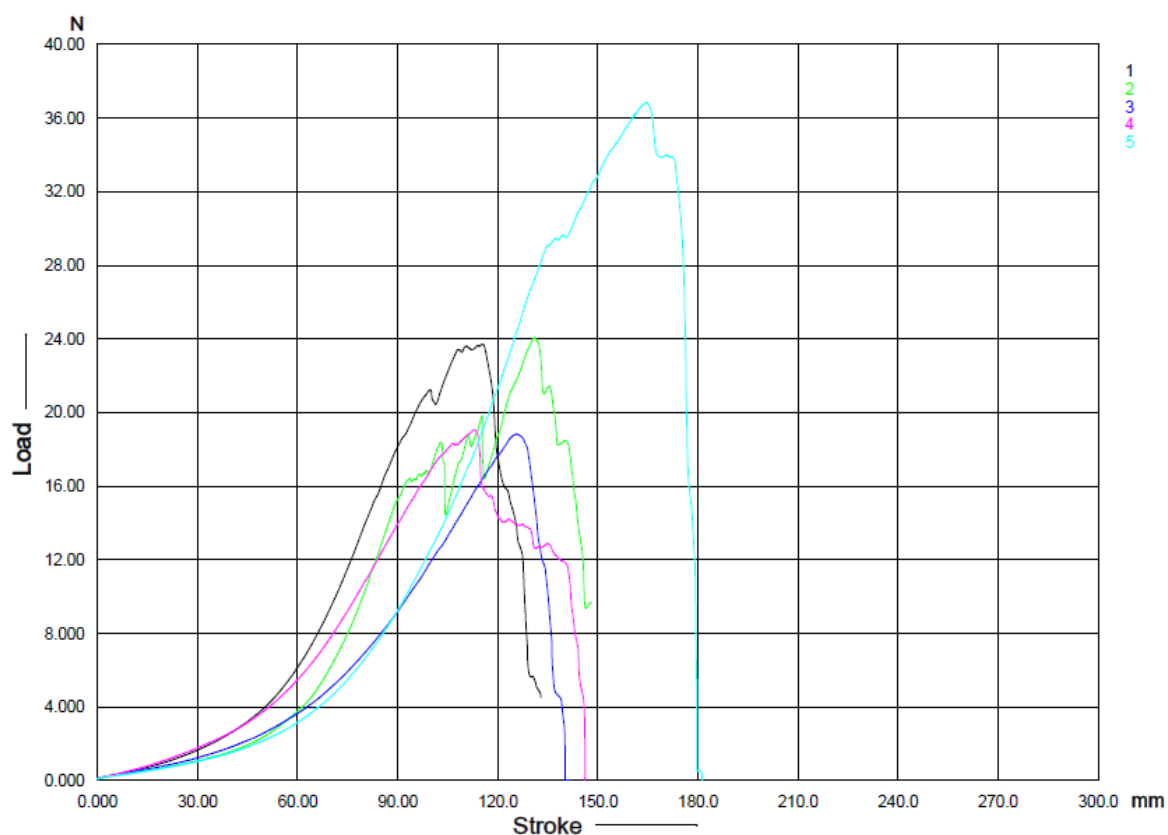


Slika 43 Dijagram sila-pomak uzoraka sa zatvaranjem rane monofilamentnim koncem

Tablica 8 Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće rane zatvorene monofilamentnim koncem

Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	115	2,60	33,93
2	115	3,63	36,35
3	105	3,58	23,02
4	115	4,63	33,92
5	105	3,88	20,19
Srednja vrijednost	111	3,66	29,48

U dijagramu na slici 44 prikazane su krivulje sila – pomak za uzorke kod kojih je rez zatvoren staplerom.

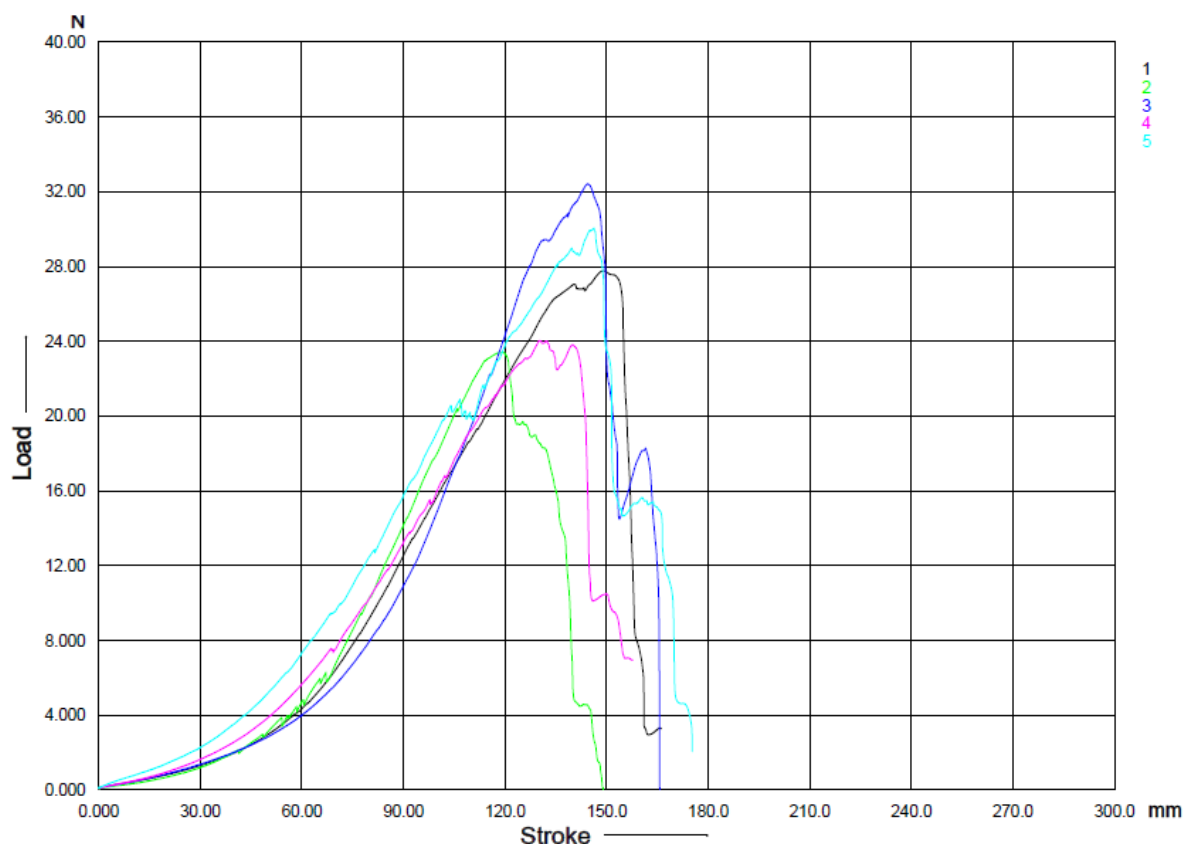


Slika 44 Dijagram sila-pomak za uzorke sa zatvaranjem rane staplerom

Tablica 9 Rezultati ispitivanja čvrstoće rane zatvorene staplerom

Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	125	3,53	23,71
2	115	3,26	24,06
3	123	3,76	18,84
4	150	4,97	19,07
5	135	3,70	36,85
Prosječna vrijednost	130	3,84	24,51

Dijagram na slici 45 i tablica 10 prikazuju rezultate dobivene jednoosnim statičkim vlačnim ispitivanjem uzoraka kod kojih je rana cistotomije zavorena koncem s postranim kukicama.



Slika 45 Dijagram sila-pomak za uzorke sa zatvaranjem rane koncem s postranim kukicama

Tablica 10 Rezultati ispitivanja čvrstoće rane zatvorene koncem s postranim kukicama

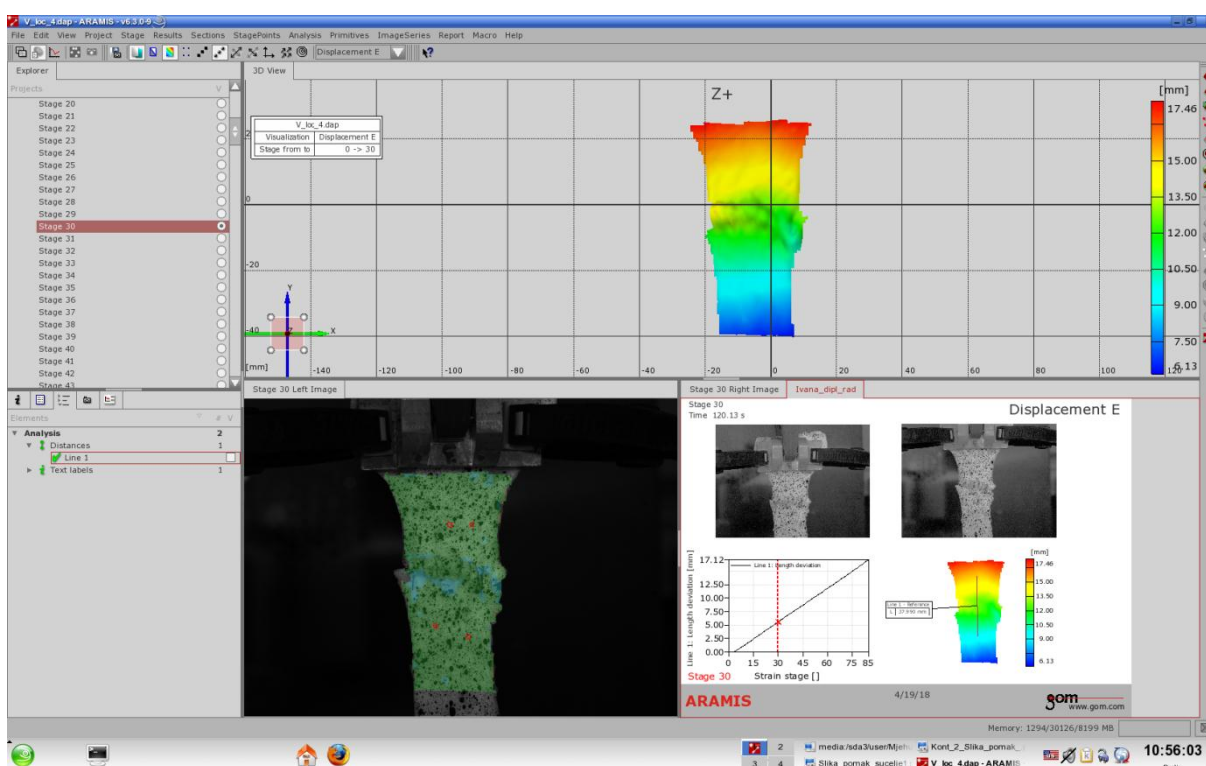
Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	105	3,63	27,78
2	125	3,18	23,41
3	105	3,68	32,41
4	135	3,43	24,03
5	115	4,94	30,06
Srednja vrijednost	117	3,77	27,54

Cilj ovih ispitivanja bio je odrediti postoji li statistički značajna razlika među pojedinim skupinama uzoraka ovisno o tehnici zatvaranja reza. Budući da su uzorci normalno distribuirani, rezultati su testirani ANOVA-om. Rezultati pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između skupina kod kojih je rez zatvaran različitim tehnikama, a razlika ne

postoji niti između kontrolnih, intaktnih uzoraka i ispitnih uzoraka sa zatvorenom ranom cistotomije ($p=0,2112$).

4.4. Rezultati mjerenja pomaka sustavom *Aramis*

Tijekom jednoosnoga statičkoga vlačnog ispitivanja čvrstoće rane cistotomije pomaci su snimani optičkim mjernim sustavom *Aramis* kako bi se dobio bolji uvid u način popuštanja rane. Za sve ispitne uzorke slike su diskretizirane fasetama veličine 20x20 piksela. U ovom poglavlju prikazani su pomaci i deformacije određeni korelacijom digitalne slike primjenom optičkog sustava *Aramis* za tri skupine uzoraka. Na slici 46 prikazano je sučelje programa *Aramis*.

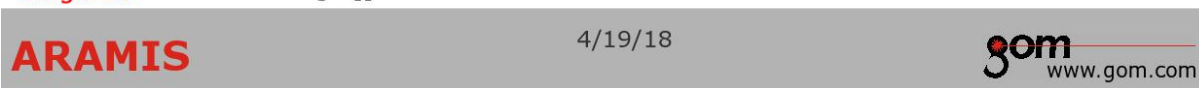
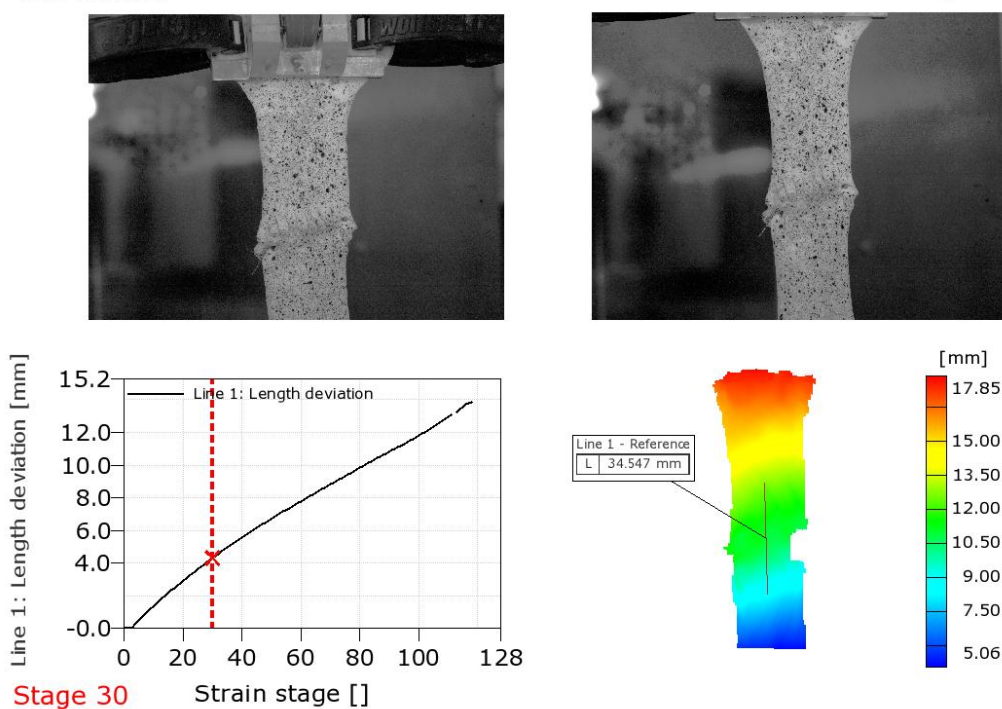


Slika 46 Sučelje programa *Aramis*

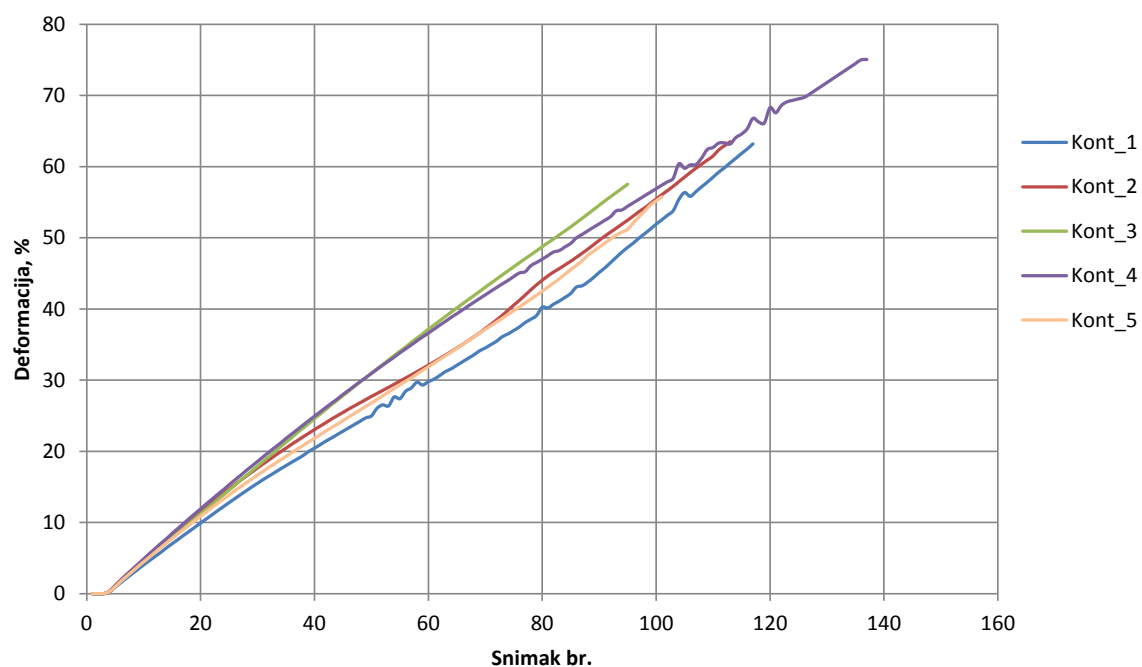
Na slici 47 prikazan je uzorak spojen monofilamentnim koncem u nedeformiranom (lijevo) i deformiranom stanju (desno). Prikazana je i raspodjela pomaka u deformiranom stanju i to 120 sekundi nakon početka eksperimenta te udaljenost između dviju točaka na uzorku između kojih se nalazio šav. Te točke definirane su u neopterećenom stanju uzorka. Na ovaj način analizirani su svi uzorci u ovoj skupini, a deformacije su, ovisno o broju snimaka prikazane u dijagramu na slici 48.

Stage 30
Time 120.19 s

Displacement E

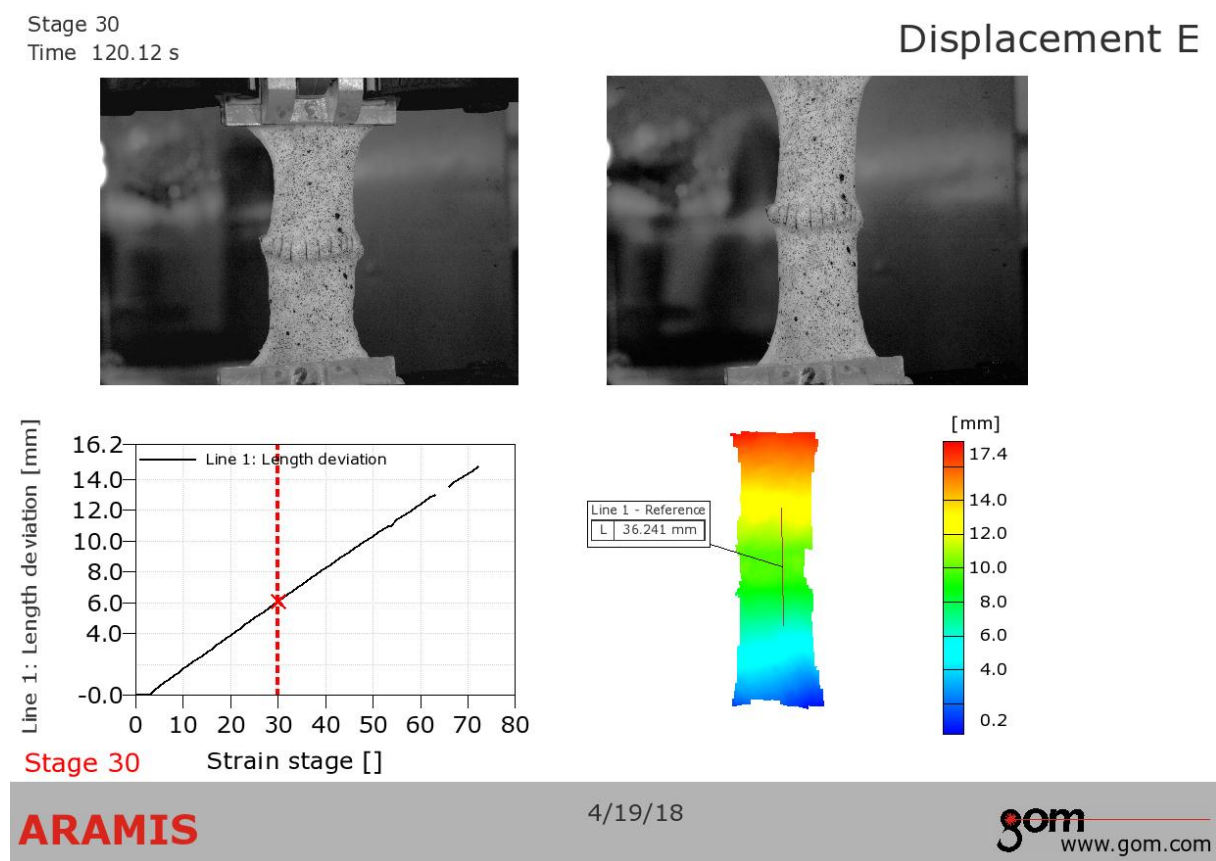


Slika 47 Pomak kod uzorka spojenog monofilamentnim koncem

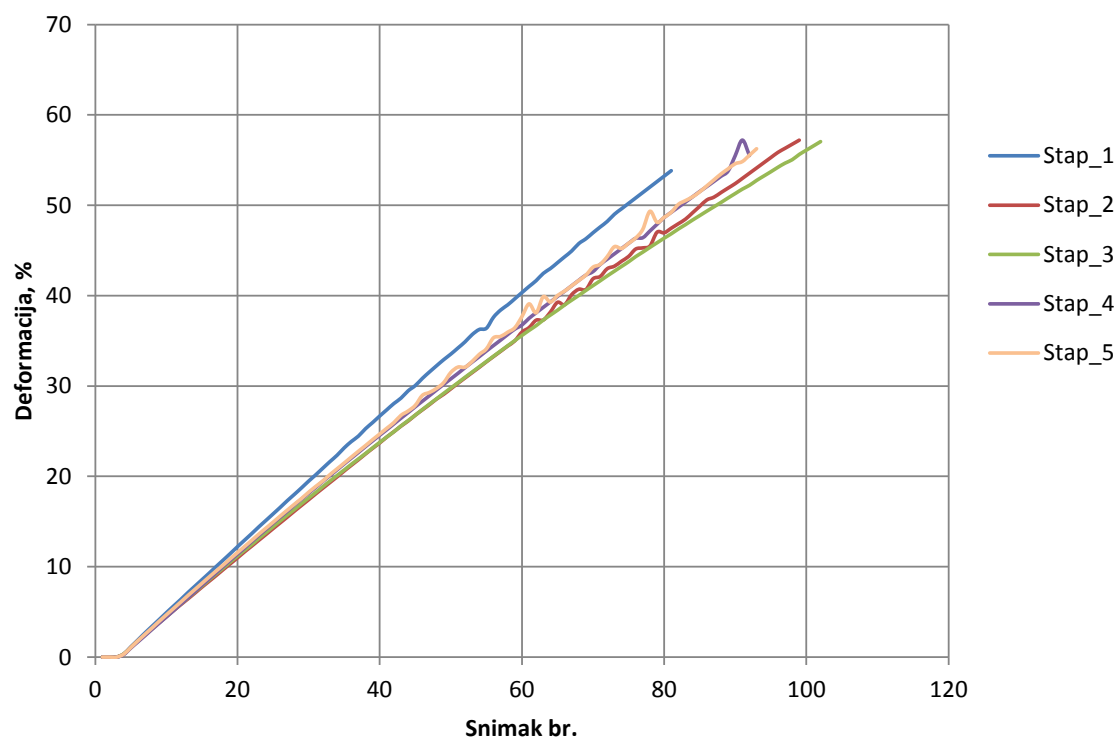


Slika 48 Dijagram deformacije za uzorke spojene monofilamentnim koncem

Slika 49 prikazuje pomake na uzorcima spojenim staplerom na snimci 30 odnosno nakon 120,12 sekundi od početka opterećivanja uzorka. Kao i kod prethodne skupine, definirane su dvije točke na uzorku između kojih se nalazio šav. Deformacije za sve uzorke spojene staplerom prikazane su na slici 50.



Slika 49 Pomak kod uzorka spojenog staplerom

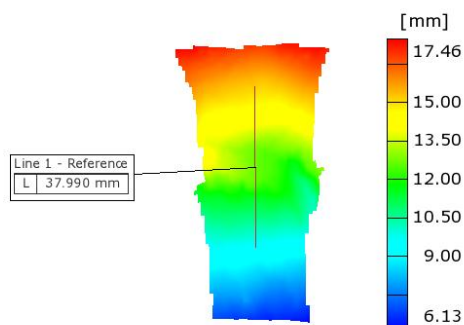
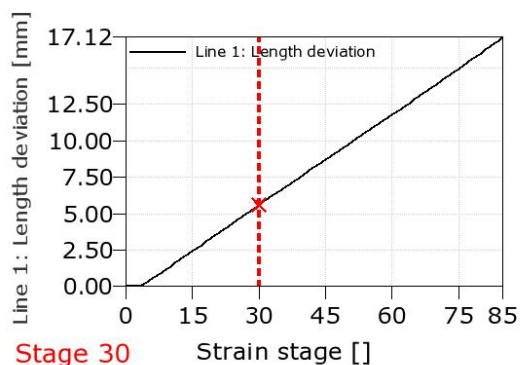
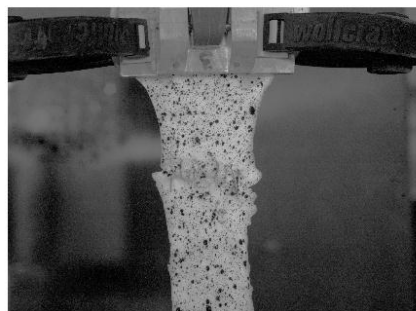
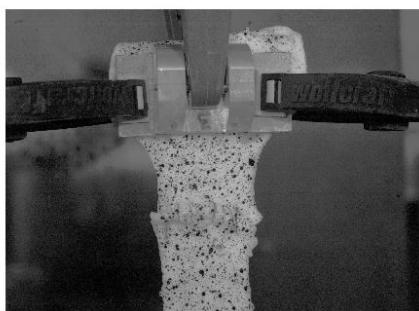


Slika 50 Dijagram deformacija za uzorke zatvorene staplerom

Prema prethodno opisanom postupku analizirani su i uzorci spojeni V-Loc koncem. Slika 51 prikazuje raspodjelu pomaka na jednom uzorku spojenom V-Loc koncem, a na slici je vidljivo i koje su dvije točke odabrane za praćenje ukupnog pomaka tijekom cijelog eksperimenta. Dijagram deformacija za sve uzorke ove skupine prikazan je na slici 52.

Stage 30
Time 120.13 s

Displacement E

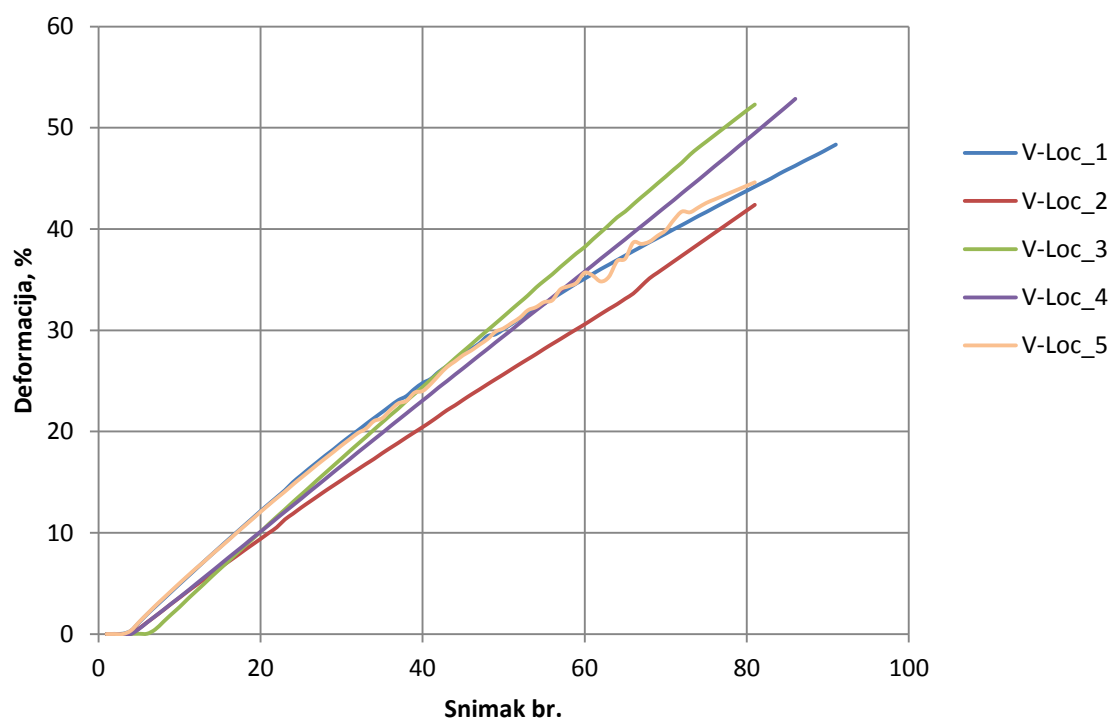


ARAMIS

4/19/18

gom
www.gom.com

Slika 51 Pomak kod uzorka spojenog V-Loc koncem



Slika 52 Dijagram deformacije za uzorke spojene V-Loc koncem

Analizirane su vrijednosti deformacija/sila za sve uzorke u 312. i 192. sekundi provedbe eksperimenta. Rezultati za 192. sekundu normalno su distribuirani te su testirani pomoću ANOVA-e. Budući da je ANOVA pokazala da postoji statistički značajna razlika među skupinama proveden je i Tukey HSD test kako bi se otkrilo koji tipovi uzoraka se razlikuju. Test je pokazao da ne postoji razlika između V-Loc šava i staplera te između V-Loc šava i standardnog šava. Razlika postoji između standardnog šava i staplera. Rezultati pokazuju da stapleri imaju najveću sredinu što znači da je kod staplera potrebna manja sila za istu vrijednost deformacije. Analizom rezultata za 312. sekundu dobiveni su slični rezultati kao i za 192. Odnosno, statistički značajna razlika postoji samo između staplera i standardnog šava.

Tablica 11 Vrijednosti sile i deformacije za standardni šav za 192. sekundu

<i>Br. uzorka</i>	<i>Sila, N</i>	<i>Deformacija, %</i>	<i>Deformacija/sila</i>
1	3,92	26,07	6,65
2	2,16	28,14	13,03
3	2,35	31,61	13,47
4	1,62	31,53	19,44
5	2,25	27,30	12,12

Tablica 12 Vrijednosti sile i deformacije za stapler za 192. sekundu

<i>Br. uzorka</i>	<i>Sila, N</i>	<i>Deformacija, %</i>	<i>Deformacija/sila</i>
1	1,79	34,20	19,15
2	1,17	30,30	25,95
3	1,33	30,30	22,81
4	1,89	31,40	16,60
5	1,11	32,09	28,93

Tablica 13 Vrijednosti sile i deformacije za V-Loc šav za 192. sekundu

<i>Br. uzorka</i>	<i>Sila, N</i>	<i>Deformacija, %</i>	<i>Deformacija/sila</i>
1	1,41	30,63	30,63
2	1,30	26,16	26,16
3	1,47	32,07	32,07
4	1,79	30,05	30,05
5	2,46	30,72	30,72

5. RASPRAVA

Usporedbom rezultata statičkoga vlačnog ispitivanja za uzorke dobivene za dva međusobno okomita smjera pokazano je da postoji statistički značajna razlika u vrijednostima maksimalne sile između uzoraka dobivenih iz uzdužnog ($F_{\max}=18,57$ N) i poprečnog smjera ($F_{\max}=14,73$ N) mokraćnog mjehura. Statističkom analizom podataka utvrđeno je da ne postoji povezanost između debljine stijenke mjehura i maksimalne sile pri kojoj uzorak puca. Kako bi se dobio što bolji uvid u ponašanje tkiva mokraćnog mjehura uslijed narinutog opterećenja, pomoću vrijednosti naprezanja i deformacije izračunat je modul elastičnosti u dva približno linearna područja dijagrama. Analizom vrijednosti modula elastičnosti za ove dvije skupine uzoraka uočeno je da nema statistički značajne razlike u vrijednosti modula elastičnosti E_1 u prvom području dijagrama pri malim vrijednostima deformacije, odnosno može se reći da se pri malim vrijednostima deformacije tkivo ponaša izotropno. Nasuprot tomu, pri velikim deformacijama uočena je statistički značajna razlika u vrijednostima modula elastičnosti E_3 između poprečnih ($E_3=0,0571$ MPa) i uzdužnih uzoraka ($E_3=0,1819$ MPa). Pri velikim vrijednostima deformacije uzorci dobiveni u uzdužnom smjeru mjehura krući su od poprečnih. Dobiveni rezultati u skladu su s opažanjima grupe autora Jokandan i sur. [13]. Rezultati ovog ispitivanja potvrđuju hipotezu da su mehanička svojstva tkiva svinjskog mjehura različita u dva međusobno okomita smjera.

Srednja vrijednost maksimalnoga intravezikalnog tlaka kod uzoraka zatvorenima standardnim načinom šivanja iznosila je 17,4 mmHg, kod uzoraka zatvorenima staplerom 10,9 mmHg dok je tlak kod uzoraka zatvorenih koncem s postranim kukicama iznosio 8,7 mmHg. Statističkom analizom rezultata utvrđeno je da postoji značajna razlika među skupinama. Razlika je statistički značajna između skupina kod kojih je rez cistotomije zatvoren standardnim šavom i staplerom te između skupina kod kojih je rez zatvoren standardnim šavom i koncem s postranim kukicama. Razlika između uzoraka sa zatvaranjem reza staplerom i koncem s postranim kukicama statistički nije značajna. Uzimajući u obzir sve rezultate može se reći da alternativne tehnike zatvaranja reza cistotomije nisu jednako učinkovite kao standardna tehnika. Ipak, ako se uzme u obzir podatak da je u fiziološkim uvjetima intravezikalni tlak u svinjskom mjehuru uobičajeno 4 - 7,3 mmHg [6], za zatvaranje reza cistotomije prikladni su i stapleri i konac s postranim kukicama. Do propuštanja rane kod uzoraka sa zatvaranjem rane standardnim šavom i koncem s postranim kukicama uglavnom je

dolazilo na mjestima uboda, a samo jedan uzorak je propustio između dva uboda. Kada je riječ o uzorcima zatvorenima staplerom, tri su uzorka propustila između uboda, a ostali na mjestima uboda što je u skladu s opažanjima u radovima [6,15]. Problem propuštanja na mjestima uboda pojavljuje se samo kod ovakvog tipa eksperimenata, u živom tkivu rana gotovo nikada ne propušta na mjestima uboda igle zbog elastičnosti mjehura, odnosno mjehur se kontrahira nakon prolaska igle oko tunela kojim prošla igla. Hipoteza da alternativne tehnike zatvaranja reza cistotomije osiguravaju dostatan tlak je potvrđena.

Ukoliko se uspoređi vrijeme potrebno za zatvaranje reza, veliku prednost ima zatvaranje reza staplerom sa srednjom vrijednošću vremena zatvaranja $t=1,13$ min. Između skupina kod kojih je korišten standardni monofilamentni konac ($t=6,69$ min) i V-Loc konac ($t=6,31$ min) nema statistički značajne razlike u vremenu šivanja, što je u skladu s rezultatima dobivenim u radu [6]. No, ostala istraživanja pokazala su da razlika u vremenu šivanja između ovih dviju skupine uvelike nastaje tijekom laparoskopskih zahvata [15,16]. Nema literaturnih podataka o korištenju staplera za zatvaranje reza cistotomije, a pogledaju li se istraživanja u kojima su stapleri korišteni za zatvaranje reza enterotomije [10-12] uočava se sličnost s rezultatima dobivenim u ovom radu. Naime, pri zatvaranju reza enterotomije rezultati pokazuju da je tehnika zatvaranja reza staplerom brža u usporedbi s produžnim šavom [11] i dovoljno sigurna da se može koristiti kao zamjena za standardnu metodu šivanja [10]. Do sličnog zaključka dolazi se i analizom rezultata ovog istraživanja. Zatvaranje reza cistotomije mnogo je brže ako se upotrebljava stapler, a sigurnost je zadovoljavajuća uzimajući u obzir uobičajene maksimalne vrijednosti intravezikalnog tlaka u svinjskim mjehurima u fiziološkim uvjetima. Hipoteza da korištenje alternativnih metoda ne produljuje vrijeme trajanja operacije je potvrđena.

Kako bi se dobio bolji uvid u ponašanje rane zatvorene različitim tehnikama ispitana je i vlačna čvrstoća rane. Srednja vrijednost maksimalne sile pucanja uzoraka je najveća kod kontrolne skupine ($F_{\max}=31,73$ N), a najmanja kod skupine sa zatvaranjem reza staplerom ($F_{\max}=24,51$ N). Statistička analiza pokazala je da nema značajne razlike između ispitnih skupina, odnosno vlačna čvrstoća rane ne razlikuje se značajno ovisno o tehnici šivanja. Dobivenim rezultatima potvrđena je hipoteza da nema značajne razlike u vlačnoj čvrstoći rane ovisno o načinu zatvaranja.

Rasipanje rezultata kod skupine sa standardnim načinom zatvaranja reza veće je nego kod skupina uzoraka zatvorenih kožnim staplerom i koncem s postranim kukicama. Ova pojava uočena je tijekom ispitivanja intravezikalnog tlaka te pri ispitivanju vlačne čvrstoće rane, a može biti posljedica nedostatka same tehnike šivanja ili kvalitete ispitnih uzoraka.

Kako bi se utvrdio uzrok ove pojave potrebna su dodatna ispitivanja spomenutom tehnikom na većem broju uzoraka.

Analizom pomaka i deformacija pomoću optičkog mjernog sustava *Aramis* pokazano je da se sustav može koristiti za određivanje polja pomaka i deformacija područja oko rane, ali samo do određene vrijednosti sile. Pri ispitivanju uzoraka uočeno je nekoliko problema u vezi s provedbom mjerenja. Jedan njih je velika istezljivost uzoraka tijekom ispitivanja zbog čega oni izlaze iz vidnog polja kamere pa se ne mogu pratiti pomaci u području sila pucanja uzoraka. Drugi problem su kapljice tekućine koje nastaju u slučaju većih deformacija i slijevaju se niz uzorak mijenjajući oštrinu slike i raster ispiranjem dijela crnih točkica na površini uzorka. Posljedica toga je za sustav neprepoznatljiv raster, odnosno gubitak mjernih točaka na površini uzoraka. Analiza dobivenih rezultata za sile i deformacije u 192. sekundi pokazala je da je razlika između skupina statistički značajna samo između uzoraka sa zatvaranjem reza standardnim šavom i staplerom.

6. ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada bila je utvrditi mogu li se alternativne tehnike zatvaranja reza cistotomije koristiti umjesto standardne metode. Ispitivanjem maksimalnoga intravezikalnog tlaka, ovisno o načinu zatvaranja reza cistotomije, utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između standardne i alternativnih tehnika. Vrijednost maksimalnoga intravezikalnog tlaka veća je u skupini uzoraka zatvorenih standardnom tehnikom, a između onih zatvorenih staplerom i koncem s postranim kukicama nema statistički značajne razlike. Usporedbom vremena potrebnoga za zatvaranje reza cistotomije uočeno je da je za zatvaranje reza kožnim staplerom potrebno znatno manje vremena u usporedbi sa standardnom i tehnikom zatvaranja korištenjem konca s postranim kukicama. Statičkim vlačnim ispitivanjem čvrstoće rane pokazano je da ne postoji statistički značajna razlika u čvrstoći rane ovisno o načinu njezina zatvaranja, odnosno zatvaranjem reza svim ovdje ispitanim tehnikama postiže se dostatna čvrstoća. Optički mjerni sustav *Aramis* može se koristiti za određivanje polja pomaka i deformacija područja oko rane, ali samo u području malih gradijenata deformacija. Ispitivanjem mehaničkih svojstava uzoraka u dva međusobno okomita smjera utvrđena je statistički značajna razlika u maksimalnoj sili između dvije skupine uzoraka. Pri malim deformacijama tkivo se ponaša približno izotropno dok je pri velikim vrijednostima deformacije krutost značajno veća u uzdužnom smjeru tkiva svinjskog mokraćnog mjehura.

Maksimalni intravezikalni tlak izmjeren nakon šivanja reza cistotomije standardnom tehnikom bio je najveći i opravdao je primjenu standardne tehnike svakodnevno korištene pri zatvaranju reza cistotomije, iako je fiziološki intravezikularni tlak kod svinje niži od vrijednosti izmjerene nakon zatvaranja reza cistotomije staplerom ili koncem s postranim kukicama. Tehnika zatvaranja reza cistotomije staplerima brža je u usporedbi sa standardnom metodom, a tehnika zatvaranja reza koncem s postranim kukicama nije pokazala prednosti pred standardnom tehnikom. Da bi se dobili realniji i pouzdaniji rezultati, poželjno bi bilo povećati broj uzoraka u skupini te provesti ispitivanja na živom tkivu.

LITERATURA

- [1] Zanetti EM, Perrini M, Bignardi C, Audenino AL. Bladder tissue passive response to monotonic and cyclic loading. 2012 Jun;49(1):49–63.
- [2] König HE, Liebich HG. Anatomija domaćih sisavaca, Udžbenik i atlas. Naklada slap; 2009.
- [3] Vnuk D. Kirurške bolesti urogenitalnog sustava
- [4] Tobias KM, Johnston SA. Veterinary Surgery Small Animal. Elsevier Saunders; 2012.
- [5] Kieves Nina R., Krebs Alexander I. Comparison of leak pressures for single-layer simple continuous suture pattern for cystotomy closure using barbed and monofilament suture material in an ex vivo canine model*. Veterinary Surgery. 2017 Feb 8;46(3):412–6.
- [6] S. Montel J, J. Duffy D, Weng H-Y, Freeman L. Single layer cystotomy closure of excised porcine bladders with barbed versus smooth suture material. Veterinary Surgery. 2017;46:580–6.
- [7] Demyttenaere SV, Nau P, Henn M, Beck C, Zaruby J, Primavera M, et al. Barbed Suture for Gastrointestinal Closure: A Randomized Control Trial. Surg Innov. 2009 Sep 1;16(3):237–42.
- [8] Omotosho P, Yurcisin B, Ceppa E, Miller J, Kirsch D, Portenier DD. In Vivo Assessment of an Absorbable and Nonabsorbable Knotless Barbed Suture for Laparoscopic Single-Layer Enterotomy Closure: A Clinical and Biomechanical Comparison Against Nonbarbed Suture. Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. 2011 Nov 30;21(10):893–7.
- [9] Nemecek E, Negrin L, Beran C, Nemecek R, Hollinsky C. The application of the V-Loc closure device for gastrointestinal sutures: a preliminary study. Surgical Endoscopy. 2013 Oct 1;27(10):3830–4.
- [10] Gandini M, Iotti B, Giusto G. Biomechanical Comparison of Four Technique for Pelvic Flexure Enterotomy Closure in Horses. Veterinary surgery : VS. 2013;42.
- [11] Rosser JM, Brounts S, Livesey M, Wiedmeyer K. Comparison of single layer staple closure versus double layer hand-sewn closure for equine pelvic flexure enterotomy. The Canadian Veterinary Journal. 2012 Jun;53(6):665–9.

-
- [12] Rosser J, Brounts S, Slone D, Lynch T, Livesey M, Hughes F, et al. Pelvic flexure enterotomy closure in the horse with a TA-90 stapling device: A retrospective clinical study of 84 cases (2001-2008). *The Canadian veterinary journal La revue vétérinaire canadienne*. 2012;53:643–7.
- [13] Jokandan MS, Ajalloueian F, Edinger M, Stubbe PR, Baldursdottir S, Chronakis IS. Bladder wall biomechanics: A comprehensive study on fresh porcine urinary bladder. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2018;79:92–103.
- [14] Korossis S, Bolland F, Southgate J, Ingham E, Fisher J. Regional biomechanical and histological characterization of the passive porcine urinary bladder: implication for augmentation and tissue engineering strategies. *Biomaterials*. 2009;30:266–275.
- [15] Ruzickova P, Burns P, Piat P, Frasc MG, Beauchamp G, Elce YA. Ex Vivo Biomechanical Comparison of 4 Suture Materials for Laparoscopic Bladder Closure in the Horse. *Veterinary Surgery*. 45(3):374–9.
- [16] Gözen AS, Arslan M, Schulze M, Rassweiler J. Comparison of Laparoscopic Closure of the Bladder with Barbed Polyglyconate Versus Polyglactin Suture Material in the Pig Bladder Model: An Experimental In Vitro Study. *Journal of Endourology*. 2011 Oct 18;26(6):732–6.
- [17] Chamsy D, King C, Lee T. The Use of Barbed Suture for Bladder and Bowel Repair. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*. 2015 May 1;22(4):648–52.
- [18] http://www.medent.co.nz/assets/EmbeddedImages/SUB_PDF.pdf, preuzeto 23.4.2018.
- [19] <https://www.teleflex.com/usa/product-areas/surgical/skin-stapling-solutions/visistat-skin-stapler>, preuzeto 20.4.2018.
- [20] Surjak M, Validacija numeričkih modela mehaničkog ponašanja životinjskih i ljudskih kostiju. Doktorski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb, 2015.
- [21] Aramis User Information – Hardware, GOM mbH, Njemačka 2009.
- [22] Aramis User Manual – Software, GOM mbH, Njemačka 2009.

PRILOZI

I. CD-R disc